



Universidade de Aveiro Departamento de Geociências
2016

**SUSANA RAQUEL
DE MORAIS SALGADO**

**GEOQUÍMICA E GEOFÍSICA APLICADA À
ARQUEOLOGIA: O CASO DE ESTUDO DO
CASTRO DE UL**



Universidade de Aveiro Departamento de Geociências
2016

**SUSANA RAQUEL
DE MORAIS SALGADO**

**GEOQUÍMICA E GEOFÍSICA APLICADA À
ARQUEOLOGIA: O CASO DE ESTUDO DO
CASTRO DE UL**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Geomateriais e Recursos Geológicos, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Eduardo Anselmo Ferreira da Silva, Professor Catedrático do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro e do Professor Doutor Fernando Ernesto Rocha de Almeida, Professor Associado do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.

*“Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa,
nunca tem medo e nunca se arrepende”*

Leonardo da Vinci.

o júri

Presidente

Prof. Doutora Maria do Rosário Mascarenhas de Almeida Azevedo
Professora associada da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Eduardo Anselmo Ferreira da Silva
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro (orientador)

Prof. Doutor Rui Miguel Marques Moura
Professor Auxiliar da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (arguente)

agradecimentos

Foram várias as pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho e às quais devo uma palavra de agradecimento.

Em primeiro lugar, agradeço aos meus orientadores, Professor Doutor Eduardo Ferreira da Silva e Professor Doutor Fernando Almeida, por me terem dado esta oportunidade, pela infinita compreensão, apoio, disponibilidade e, acima de tudo, pela paciência e pelos conhecimentos que me foram transmitindo.

À Câmara Municipal de Oliveira de Azeméis, em particular ao arqueólogo Dr. João Tiago Tavares, por terem tornado este trabalho possível, pela disponibilidade demonstrada durante os trabalhos de campo e pela partilha de conhecimentos.

Ao Engenheiro João Ribeiro, pela preciosa ajuda durante os trabalhos de campo, pela simpatia e pelas padas de UI que tão bem nos souberam.

Ao Luís Café, pelo companheirismo, partilha dos dados e pela preciosa ajuda no tratamento dos dados.

A todos os funcionários do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro. Ao Sr. Graça, que apesar de já não estar no Departamento, prontamente me auxiliou ao reparar a avaria no agitador.

Ao meu pai, pela grande ajuda que nos deu durante os trabalhos de campo. À minha mãe e irmã, por me terem incentivado a nunca desistir, apesar de todos os contratempos que foram surgindo. Ao meu irmão e à restante família.

A todos os amigos que me foram incentivando, que me acompanharam nas dúvidas e nas certezas. Podem não estar todos por perto fisicamente, mas sei que estão sempre comigo.

palavras-chave

prospecção geoquímica, solos, prospecção geofísica, arqueologia, Castro de UI.

resumo

O presente trabalho teve como principal objetivo a definição de um zonamento arqueológico na área correspondente ao Castro de UI – Oliveira de Azeméis, com vista a definir potenciais zonas de interesse em futuras escavações arqueológicas, utilizando uma abordagem multidisciplinar que englobou a aplicação de técnicas de prospecção geofísica e geoquímica em solos.

Neste estudo foram efetuadas medições de resistividade elétrica no terreno, em 77 pontos de amostragem, usando o dispositivo pólo-pólo. Simultaneamente, foram recolhidas amostras de solo nos mesmos pontos de amostragem, tendo sido posteriormente sujeitas a análise geoquímica por ICP-MS 50 amostras de solo. Para o tratamento dos dados, foi usado o método de análise em componentes principais e a análise de classificação hierárquica ascendente.

Através da análise geofísica, foram identificados três fatores, relacionados com a geologia, a homogeneidade e a espessura do terreno. A análise geoquímica das amostras de solo permitiu identificar duas assinaturas geoquímicas distintas, tipicamente associadas a solos associados a granitos e outra cuja assinatura está associada a xistos.

A integração dos dados geofísicos e geoquímicos mostrou a existência de uma relação entre os valores médios da resistividade e o fator correspondente à assinatura geoquímica típica de granitos. Foi possível, deste modo, definir um zonamento arqueológico com possível interesse em futuras escavações, que inclui as escavações pré-existentes.

keywords

geochemistry, soils, geophysics, archaeology, Castro de UI.

abstract

In aim of this study, was the definition of an archaeological zoning in the area of Castro de UI – Oliveira de Azeméis. In order to identify potential areas of interest for future archaeological excavations, a multidisciplinary approach was followed using geophysical and geochemical methodologies on soil sampling media.

Electrical resistivity measurements were performed in 77 sampling points, using the polo-polo array. Simultaneously, soil samples were collected at the same sampling points. Afterward, 50 soil samples were analyzed by ICP-MS. The data were processed by the method of principal component analysis and cluster analysis.

From geophysics, three factors were identified, related to geology, homogeneity and the ground thickness. Geochemical data allowed to identify two distinct geochemical signatures, typically associated with granites and shales.

The integration of geophysical and geochemical data, revealed a correlation between the average resistivity and the geochemical signature associated with granites. The results allowed a definition of an archaeological zoning, with potential interest for future archaeological excavations, which includes the pre-existing ones.

ÍNDICE

Capítulo 1 - Introdução Geral	1
1.1 A Aplicação da Geologia aos Estudos Arqueológicos.....	1
1.2 A freguesia de Ul.....	1
1.2.1 O caso de estudo: O Castro de Ul.....	2
1.3 Objetivos.....	4
1.4 Organização e Conteúdo da Tese	4
Capítulo 2 -Enquadramento da Área de Estudo	7
2.1 Enquadramento Geográfico	7
2.2 Enquadramento Geológico e Geomorfológico	9
2.3 Caracterização do solo.....	10
2.4 Relevô, clima e hidrografia	10
2.4.1 Relevô.....	10
2.4.2 Clima	11
2.4.3 Hidrografia	11
Capítulo 3 - Métodos e Técnicas.....	13
3.1 Trabalho de Campo	13
3.2 Aquisição de dados geofísicos	14
3.2.1 O Método de Resistividade Elétrica	14
3.2.2 O Dispositivo Usado	17
3.2.3 Aquisição e Processamento dos Dados Adquiridos.....	19
3.3 Aquisição de dados geoquímicos.....	19
3.3.1 Preparação Física das Amostras	20
3.3.2 Análise granulométrica	21
3.3.3 Análise química das amostras	23
3.4 Análise de dados geoquímicos e geofísicos	24
3.4.1 A Análise de Componentes Principais (ACP)	24
Capítulo 4 -Análise e interpretação de resultados.....	27
4.1 Análise Granulométrica das Amostras de solo	27
4.2 Geofísica	34
4.2.1 Aquisição e processamento dos dados adquiridos	34
4.3 Geoquímica.....	42
4.3.1 Análise univariada	43
4.3.2 Análise multivariada.....	44
Capítulo 5 -Integração de dados geofísicos e geoquímicos e conclusões.....	55
Capítulo 6 -Referências Bibliográficas.....	59
Anexos	
I. Resultados obtidos na análise granulométrica das amostras de solo	63
II. Resultados Obtidos na Prospeção Geofísica.....	65
III. Resultados Obtidos na Análise Geoquímica das Amostras de Solo	73
IV. ACP da Análise Geofísica (coordenadas das amostras nos seis primeiros fatores)	80
V. ACP da Análise Geoquímica (coordenadas das amostras nos seis primeiros fatores)	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – O Castro de Ul: à esquerda a escavação arqueológica Norte, à direita a escavação arqueológica Sul.	2
Figura 1.2 – <i>Terminus Augustalis</i> (à esquerda) e marco miliário (à direita) (fotografias retiradas de [W4] e [W5]).....	4
Figura 2.1 – Mapa do concelho de Oliveira de Azeméis, após a Reorganização Administrativa de 2013 (http://pt.wikipedia.org/wiki/Oliveira_de_Azem%C3%A9is#/media/File:Oliveira_de_Azem%C3%A9is_freguesias_2013.svg).	7
Figura 2.2 – Excerto da folha 164 (Oliveira de Azeméis) da Carta Militar de Portugal à escala 1:25000, com a área de estudo assinalada a laranja (<i>datum</i> Hayford Gauss IPCC).	8
Figura 2.3 – Ortofotomapa da zona de estudo (retirado de Google Earth em 02/06/2015).	8
Figura 2.4 – Excerto da Folha 13-D da Carta Geológica de Portugal (1:50000), com a área de estudo assinalada a amarelo (<i>datum</i> 73 Hayford Gauss IPCC).	9
Figura 3.1 – Representação dos pontos onde não foram recolhidos dados, representados a vermelho, laranja, azul-turquesa, roxo, verde e azul-escuro (<i>software Surfer 8.0</i>) (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).....	13
Figura 3.2 – Parâmetros usados na definição da resistividade elétrica de um dado material (imagem retirada de https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779571804714/Resistividade.pdf).	15
Figura 3.3 – Fluxo de corrente elétrica num meio homogêneo, a partir de um único eletrodo (A) colocado na superfície do terreno (adaptado de Telford <i>et al.</i> , 1990).	16
Figura 3.4 – Dispositivo usado na aquisição dos dados da prospeção geofísica. É visível a estrutura de suporte em PVC, os eletrodos colocados nas posições devidas e o multicabo.	17
Figura 3.5 – Esquema de colocação dos eletrodos no dispositivo usado em campo.	18
Figura 3.6 – Recolha das amostras de solo, usando um trado manual.	19
Figura 3.7 – Representação dos pontos onde foi efetuada a aquisição de dados geofísicos e a recolha de amostras de solo para análise geoquímica (<i>software Surfer 8.0</i>) (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).....	20
Figura 3.8 – Diagrama representativo das diferentes etapas da preparação física das amostras de solo.	21
Figura 3.9 – Agitador e bateria de peneiros usados na análise granulométrica das amostras de solo.	22
Figura 3.10 – Separação de uma amostra nas suas diferentes frações granulométricas (amostra 39).	23
Figura 4.1 – Classificação de três amostras representativas de solo (vermelho – amostra 4, verde – amostra 32, azul – amostra 69), que representam os três tipos de solo presentes nas amostras em estudo (projetado usando o <i>site</i> https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167).	28
Figura 4.2 – Cartografia espacial dos valores do (a) coeficiente de curvatura (C_c) e (b) coeficiente de uniformidade (C_u), utilizando o <i>software Surfer 8.0</i> . (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).	30
Figura 4.3 – Exemplos de fragmentos de (a) superior cerâmica vermelha; (b) cerâmica branca. (c) cerâmica indiferenciada; (d) fragmentos de carvão, encontrados na fração superior a 4,75 mm.	31
Figura 4.4 – Exemplos de fragmentos de seixos rolados encontrados na fração superior a 4,75 mm.	31
Figura 4.5 – Localização de fragmentos de (a) cerâmica vermelha; (b) cerâmica branca; (c) cerâmica indiferenciada; (d) fragmentos de carvão, contidos na fração superior a 4,75 mm, utilizando o <i>software Surfer 8.0</i> . (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).	32
Figura 4.6 – Representação das amostras onde foram encontrados fragmentos de seixos rolados, contidos na fração superior a 4,75 mm, utilizando o <i>software Surfer 8.0</i> . (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).	33
Figura 4.7 – Cartografia dos valores de Resistividade Média (RM) para os quatro níveis de investigação (n1, n2, n3 e n4), utilizando o <i>software Surfer 8.0</i> . (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).	36
Figura 4.8 – Cartografia dos valores de Resistividade Média Global, utilizando o <i>software Surfer 8.0</i> (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).	37
Figura 4.9 – Variação de Resistividade Média entre os diferentes níveis de investigação (n1n2, n2n3, n3n4, n1n4), utilizando o <i>software Surfer 8.0</i> (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).	38
Figura 4.10 – Cartografia dos valores de Desvio Padrão da Resistividade para os diferentes níveis de investigação (n1, n2, n3 e n4), utilizando o <i>software Surfer 8.0</i> . (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).	40
Figura 4.11 – Cartografia dos valores de Desvio Padrão Global (DP Global) para a média das resistividades utilizando o <i>software Surfer 8.0</i> . (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).	42
Figura 4.12 – Dendograma resultante da aplicação da CHA em Modo R.	44
Figura 4.13 – Dendograma resultante da aplicação da CHA em Modo Q.	44
Figura 4.14 – Explicação das quatro primeiras componentes principais da análise ACP.	45

Figura 4.15 – Representação das variáveis no primeiro plano fatorial (CP1 vs. CP2) e no segundo plano fatorial (CP1 vs. CP3).....	47
Figura 4.16 – Cartografia das coordenadas das amostras para (a) a CP1 (Fe, Mg, Mn, Ti, Co, Cr, Sc, V, Ni, Li, Y, Ca, Nb, Na e Zn (valores negativos), (b) para a CP2 (Sr, Th, Ba, Na, La, Ce, K, Rb, Ca, Y - valores positivos, (c) a CP3 (Hf, Zr, Li - valores negativos em oposição ao W - valores positivos, e (d) a CP4 (Sn e Nb - valores positivos), utilizando o <i>software Surfer 8.0</i> . (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).....	48
Figura 4.17 – Cartografia das coordenadas das amostras para a CP5 (Pb - valores positivos), utilizando o <i>software Surfer 8.0</i> . (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).....	49
Figura 4.18 – Cartografia espacial das concentrações de Fe e Mg (%), utilizando o <i>software Surfer 8.0</i> (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).....	50
Figura 4.19 – Cartografia espacial das concentrações de Sr e Th (mg kg ⁻¹), utilizando o <i>software Surfer 8.0</i> (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).....	51
Figura 4.20 – Cartografia espacial das concentrações de Zr (mg kg ⁻¹), utilizando o <i>software Surfer 8.0</i> (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).....	51
Figura 4.21 – Cartografia espacial das concentrações de Sn e Nb (mg kg ⁻¹) utilizando o <i>software Surfer 8.0</i> (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).....	52
Figura 4.22 – Cartografia espacial das concentrações de Pb (mg kg ⁻¹), utilizando o <i>software Surfer 8.0</i> (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).....	53
Figura 5.1 – Projeção das variáveis geofísicas e geoquímicas no primeiro plano fatorial (CP1 e CP2)	55
Figura 5.2 – Carta da área de estudo com as diferentes assinaturas geoquímicas assinaladas (granitos a rosa e xistos a verde), a divisória entre estas assinaturas e ainda os pontos de interesse para futuras escavações arqueológicas (<i>QuantumGis</i> , 1:1300) (Sistema PT-TM06-ETRS89) (Almeida & Silva, 2013).	58

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1 – Limite de detecção (MDL) do método para os 46 elementos químicos analisados por ICP-MS.	24
Quadro 4.1 – Classificação das partículas constituintes de um solo, de acordo com a sua dimensão.	27
Quadro 4.2 – Classificação das 77 amostras de solo, de acordo com análise granulométrica.....	28
Quadro 4.3 – Resultados obtidos na análise por Fluorescência de RX dos fragmentos de cerâmica vermelha (CV) e cerâmica branca (CB).	34
Quadro 4.4 –Estatística univariada do conjunto de dados analíticos obtidos na análise geoquímica.	43
Quadro 4.5 – Coordenadas das 39 variáveis ativas para os cinco primeiros fatores, obtidas a partir da análise em componentes principais efetuada sobre os resultados da análise geoquímica das amostras de solo.....	46
Quadro 5.1 – Coordenadas das 43 variáveis ativas para os três primeiros fatores, obtidas a partir da análise em componentes principais efetuada sobre os resultados da análise geofísica e da análise geoquímica das amostras de solo.	56
Quadro 5.2 – Cartografia das coordenadas das amostras para (a) a CP1 (Mg, Ba, Ca, Ti, Fe, Y, Na, Co, Li, Mn, Sr, La, Zn, Cr, Sc (valores negativos)), (b) para a CP2 (Rb, Sr, RMn1, RMn4, MGlobal2, RMn2, RMn3 e MGlobal (valores negativos)), utilizando o <i>software Surfer 8.0</i> (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).	57

Capítulo 1 - Introdução Geral

1.1 A Aplicação da Geologia aos Estudos Arqueológicos

A arqueologia constitui o estudo do passado recente e antigo do Homem, a partir de vestígios materiais, quer sejam estruturas e/ou fragmentos. Através da análise dessas estruturas e/ou fragmentos, permite inferir sobre a cultura e o modo de vida dos povos de então. Assim, facilita a percepção não só de onde e quando um dado povo viveu, mas também permite perceber como viviam e analisar as mudanças que ocorreram na sua cultura ao longo do tempo.

Não é ao acaso que um arqueólogo decide onde escavar, num local com potencial interesse arqueológico. É feito um estudo interdisciplinar, englobando áreas tão diversas como a antropologia, a paleobotânica, a paleozoologia, métodos de datação, bem como áreas relacionadas diretamente com a geologia, tais como estudos sedimentológicos, a análise dos materiais recolhidos, análise geoquímica, estratigrafia, geofísica, etc.

É de realçar que muitos destes estudos são efetuados com o objetivo de descobrir locais de interesse arqueológico, mesmo antes da realização dos trabalhos de escavação. São também realizados nos locais já escavados, de forma a procurar os locais mais propícios a novas descobertas e caracterizar os objetos recolhidos, constituindo assim estudos arqueológicos mais detalhados.

A realização deste tipo de estudos interdisciplinares irá funcionar como uma ferramenta para o arqueólogo, auxiliando-o na escolha dos métodos mais adequados a usar nos trabalhos de campo. Irá permitir ainda uma utilização mais racional da capacidade de trabalho, minimizando os custos e o tempo despendido.

É ainda de evidenciar a importância que este tipo de estudos apresenta, considerando a natureza única e não renovável dos registos arqueológicos, permitindo assim minimizar possíveis impactos, uma vez que as metodologias usadas são não destrutivas, não causando qualquer tipo de alteração no próprio património ou no ambiente que o rodeia.

1.2 A freguesia de UI

UI é um nome de proveniência celta, que deverá ter origem no termo “*uria*”, que significa ribeiro. É usado na toponímia, para designar a freguesia, mas também o rio que a banha pelo lado Norte, e que aqui se une ao Rio Antuã.

A história da freguesia remonta aos tempos pré-históricos, estando a presença humana na região bem documentada através de inúmeros e importantes achados arqueológicos, que comprovam a presença de povos anteriores aos romanos.

É de destacar a importância dos moinhos de água na zona, sendo a sua existência bem remota, estando já presentes em documentos do século XVIII. Inicialmente seriam usados para moer o milho, depois o trigo e mais tarde para o descasque de arroz. Assim, a existência de características naturais únicas, adequadas ao funcionamento dos moinhos, fizeram com que estes, em conjunto com as padarias tradicionais, fossem fundamentais para o desenvolvimento da freguesia,

constituindo uma primeira etapa de industrialização. Os moinhos de água, também conhecidos por moinhos de rodízio horizontal e eixo vertical, encontram-se ao longo das margens dos rios UI e Antuã, sendo usados no fabrico artesanal do Pão de UI e das Regueifas de UI [W2].

O descasque de arroz ganhou maior importância, principalmente através da sua modernização, mantendo-se até aos dias de hoje e constituindo uma nova geração de atividade económica. Nesta região estão implantadas as maiores indústrias nacionais de descasque e embalagem de arroz, como por exemplo as empresas Valente Marques e Novarroz, produzindo cerca de 60% da produção nacional.

Como património da freguesia, é ainda de referenciar o Parque Molinológico, que aproveita alguns dos moinhos de água existentes, e tem como objetivo a reabilitação económica e social da região, através de uma componente cultural, ambiental e turística.

Relativamente à população residente, segundo os dados dos Censos de 2011, era de 2413 habitantes, dos quais 525 tinham mais de 65 anos. Era a freguesia que registava maior proporção de idosos do concelho de Oliveira de Azeméis, concentrando 21,76% da sua população nesta faixa etária. Assim, tal como no restante concelho de Oliveira de Azeméis, em UI é evidente um duplo processo de envelhecimento populacional, uma vez que se tem assistido à diminuição da população jovem e a um aumento do número de habitantes com mais de 65 anos.

1.2.1 O caso de estudo: O Castro de UI

O Castro de UI constitui o único povoado fortificado existente no concelho de Oliveira de Azeméis onde foram realizadas escavações arqueológicas. Estas intervenções decorreram na década de 80, entre os anos de 1984 e 1987, sob a direção de José Maia Marques. Anteriormente, tinham sido realizadas pequenas intervenções pelo pároco local durante a década de 40, e por um antigo proprietário no início do século XX [W1].



Figura 1.1 – O Castro de UI: à esquerda a escavação arqueológica Norte, à direita a escavação arqueológica Sul.

Ocupa um esporão, na confluência dos rios UI e Antuã. Apresenta um perfil subcónico pronunciado no setor Sudoeste e menos marcado na vertente Nordeste, devido aos trabalhos agrícolas que aí decorrem [W6].

Relativamente às suas dimensões, o povoado possui um eixo maior no sentido Nordeste – Sudoeste, com cerca de 600 m de extensão, e um eixo menor no sentido Noroeste – Sudeste, com cerca de 420 m [W6]. Possui três linhas de muralha, sendo uma delas designada popularmente

por “Corredoura”. Nesta plataforma foram efetuados os trabalhos arqueológicos anteriormente referidos.

Os trabalhos de escavação arqueológica, orientados por Maia Marques, permitiram identificar estruturas bem conservadas e distinguir três fases de ocupação do solo: uma primeira ocupação, durante o Calcolítico e Idade do Bronze, da qual foram recolhidas numerosas peças e sílex e algumas peças polidas, e da qual deverá restar a base de uma lareira na vertente nascente; uma segunda ocupação, correspondente à Idade do Ferro, confirmada por cerâmica indígena e uma fíbula; e uma terceira ocupação, apoiada por fragmentos de cerâmica *siggilata*, cerâmica comum, vidro e numismas, que aí foram encontrados [W3].

Estas escavações, em conjunto com as intervenções de limpeza efetuadas pela Câmara de Oliveira de Azeméis no ano de 2011, deixaram a descoberto várias estruturas em zonas distintas do povoado, destacando-se um pavimento lajeado, estruturas de planta retangular que possivelmente fariam parte da zona habitacional, parte de um troço de muralha e um muro de delimitação [W1].

Assim, com base nos fragmentos encontrados e nas estruturas referidas, poderá inferir-se que a ocupação do Castro de UI terá ocorrido nos períodos Neolítico, Calcolítico, Idade do Ferro e durante a romanização.

A importância arqueológica atribuída ao Castro de UI está relacionada com a descoberta de duas inscrições, que comprovam a relevância do local durante o período romano, e que foram encontradas aquando das obras na Igreja Paroquial de UI:

- *Terminus Augustalis*, que constitui um marco de divisão de territórios. De forma retangular, contém uma inscrição alusiva ao Imperador César Augusto, estando datado do segundo semestre do ano 4 ou do primeiro semestre do ano 5. Atualmente, encontra-se inserido na parede da sacristia da Igreja Paroquial de UI [W5].
- Marco miliário, que assinalaria a milha XII até Langóbriga e, provavelmente a milha LX do itinerário XVI da Via Romana que ligava as cidades de Olissipo (Lisboa) a Bracara Augusta (Braga) [W3]. É dedicado ao Imperador Tibério, sendo datável de 1 de julho do ano 23 ao final de junho do ano seguinte. Tem como particularidade o facto de indicar o trajeto da via romana pelo interior do território, de forma a servir os castros e as minas [W4]. Encontra-se na atualidade no largo próximo da Igreja Matriz de Oliveira de Azeméis.



Figura 1.2 – *Terminus Augustalis* (à esquerda) e marco miliário (à direita) (fotografias retiradas de [W4] e [W5]).

1.3 Objetivos

Assim, o objetivo principal deste trabalho é estabelecer as relações entre as variáveis geofísicas e geoquímicas, no contexto arqueológico, de modo a permitir delimitar uma região de ocupação e a definir um zonamento arqueológico.

O trabalho foi realizado como resultado de um protocolo entre a Câmara Municipal de Oliveira de Azeméis e a Universidade de Aveiro (Departamento de Geociências), no âmbito da Tese de Dissertação de Luís Daniel Café, aluno do mestrado em Engenharia Geológica, e da Tese de Dissertação de Susana Salgado, aluna do mestrado em Geomateriais e Recursos Geológicos. Para o desenvolvimento dos trabalhos, contamos com a ajuda do Gabinete de Arqueologia da Câmara Municipal de Oliveira de Azeméis, com o acompanhamento do arqueólogo Dr. João Tavares.

1.4 Organização e Conteúdo da Tese

A organização por capítulos e respetivos conteúdos é a seguinte:

Neste primeiro capítulo, designado “Introdução Geral” descreve-se o caso de estudo, englobando uma pequena resenha histórica da área e os objetivos do trabalho.

No segundo capítulo, apresenta-se o enquadramento da zona, incidindo particularmente sobre os aspetos geográfico, geomorfológico e geológico; a caracterização do solo; a caracterização do relevo, do clima e da rede hidrográfica.

No terceiro capítulo, é efetuada a descrição dos métodos e técnicas usadas em todo o trabalho. Inicia-se com uma descrição do trabalho de campo realizado, incluindo uma pequena introdução ao método de resistividade elétrica e ao tipo de dispositivo usado na aquisição dos dados geofísicos, bem como ao processamento desses dados. Neste capítulo, apresenta-se o modo como foram recolhidas as amostras de solo e como foi feita a respetiva preparação física em laboratório, incluindo a análise granulométrica e a análise química dos fragmentos encontrados. Ainda neste capítulo, faz-se a introdução à análise em componentes principais, que foi usada na análise multivariada dos dados geofísicos e geoquímicos.

No quarto capítulo, são analisados e interpretados os dados resultantes da análise granulométrica das amostras de solo, dos dados geofísicos adquiridos e processados e ainda da análise geoquímica.

No quinto capítulo, é feita a integração dos dados geofísicos e geoquímicos, sendo feita a análise em componentes principais, com o tratamento simultâneo da informação geofísica e geoquímica.

Capítulo 2 - Enquadramento da Área de Estudo

2.1 Enquadramento Geográfico

Este estudo integra-se no concelho de Oliveira de Azeméis, criado em 1799, e que é limitado a Norte pelos concelhos de São João da Madeira e Santa Maria da Feira, a Nordeste por Arouca, a Este por Vale de Cambra, a Sudeste por Sever do Vouga, a Sul por Albergaria-a-Velha, a Sudoeste por Estarreja e a Oeste por Ovar (Figura 2.1). Pertence ao distrito de Aveiro, inserindo-se na Grande Área Metropolitana do Porto, região Norte (NUT II) e sub-região de Entre Douro e Vouga (NUT III).



Figura 2.1 – Mapa do concelho de Oliveira de Azeméis, após a Reorganização Administrativa de 2013
(http://pt.wikipedia.org/wiki/Oliveira_de_Azem%C3%A9is#/media/File:Oliveira_de_Azem%C3%A9is_freguesias_2013.svg).

Dista cerca de 35 Km da sede de distrito, com a qual mantém relações de índole administrativa, e fica a cerca de 40 Km do Porto, mantendo uma relação próxima com esta cidade, não só como local de aquisição de bens e serviços, mas também como local de emprego.

O concelho é atravessado, sensivelmente ao meio, pelo IC2. Na sua proximidade, passa a A1 – Autoestrada do Norte. A Sul, mas já fora do concelho, passa a A25, que liga o país a Espanha.

A nível ferroviário, a região é servida pela Linha do Vouga, que liga Aveiro a Sernada do Vouga e a Espinho.

A área de estudo encontra-se cartografada na folha 164 (Oliveira de Azeméis) da Carta Militar de Portugal à escala 1:25000, do Instituto Geográfico do Exército (Figura 2.2).

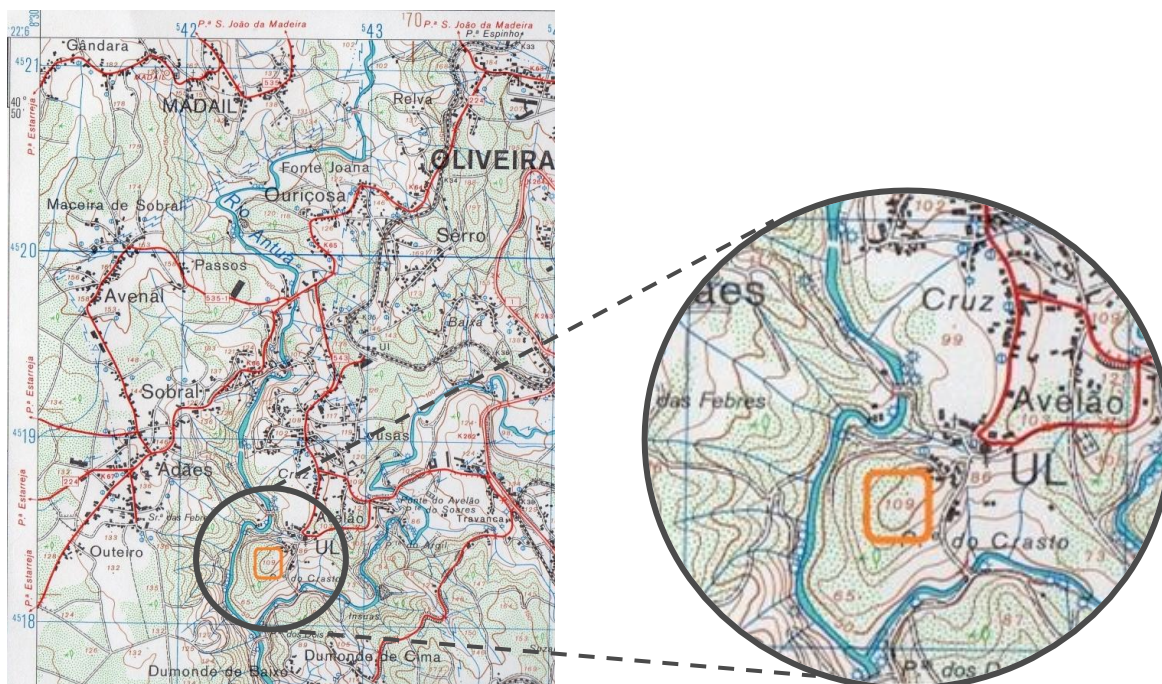


Figura 2.2 – Excerto da folha 164 (Oliveira de Azeméis) da Carta Militar de Portugal à escala 1:25000, com a área de estudo assinalada a laranja (*datum* Hayford Gauss IPCC).

A zona de estudo enquadra-se no Castro de Ul, que se situa no lugar de Crasto, em Ul, que pertence à União das Freguesias de Oliveira de Azeméis, Santiago de Riba-Ul, Ul, Macinhata da Seixa e Madail (a freguesia de Ul foi extinta em 2013).



Figura 2.3 – Ortofotomapa da zona de estudo (retirado de Google Earth em 02/06/2015).

2.2 Enquadramento Geológico e Geomorfológico

A área de estudo insere-se no segmento Porto – Albergaria-a-Velha da Faixa de Cisalhamento de Porto – Coimbra – Tomar. Apresenta relevo aplanado, correspondente a uma plataforma litoral, que termina num relevo acentuado, que constitui o seu limite interior. O topo desta plataforma é, em geral, bem marcado e sinuoso, podendo observar-se declives fracos e suaves, pelo menos a Sul de Oliveira de Azeméis (Chaminé, 2000).

No concelho de Oliveira de Azeméis existem formações rochosas de idade recente (pertencentes ao Cenozóico e ao Quaternário) e também formações muito antigas (pertencentes ao Paleozóico e Precâmbrico). A Figura 2.4 apresenta um excerto da Folha 13-D da Carta Geológica de Portugal (escala 1:50000), onde se encontra assinalada a área de estudo.

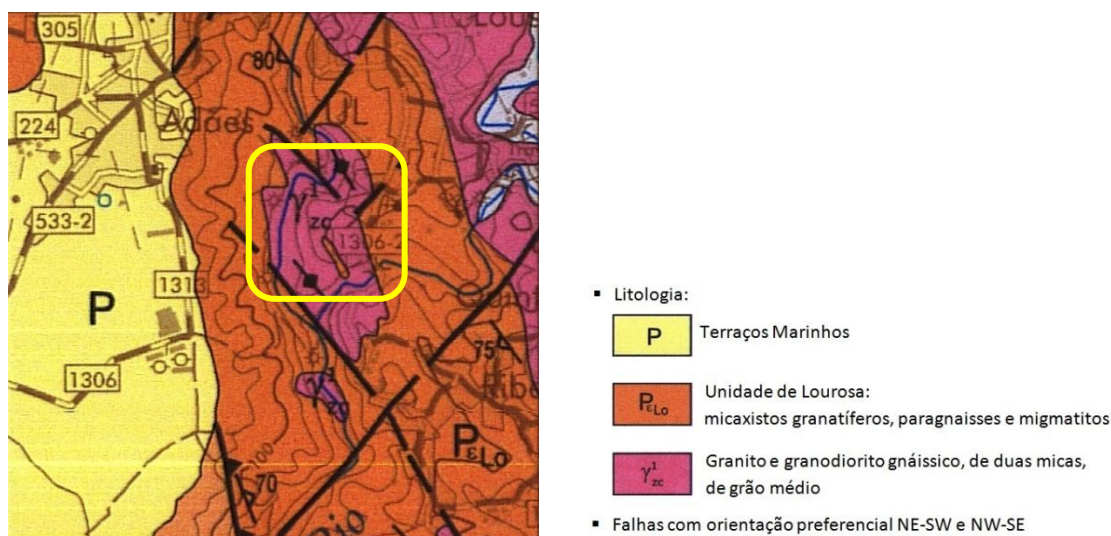


Figura 2.4 – Excerto da Folha 13-D da Carta Geológica de Portugal (1:50000), com a área de estudo assinalada a amarelo (*datum* 73 Hayford Gauss IPCC).

Analisando a constituição das formações rochosas, tendo como base o excerto da Carta Geológica apresentado, distinguem-se três tipos de litologia principais:

- Terraços marinhos, de idade Cenozóica;
- Micaxistos granatíferos, paragneisses e migmatitos, de idade Proterozóica e pertencentes à Unidade de Lourosa;
- Granito e granodiorito gnáissico, de duas micas, de grão médio.

Os terraços marinhos constituem depósitos de praias antigas, ocupando áreas de elevada importância a Sudoeste de Oliveira de Azeméis. A Sudoeste de UI, encontram-se a cotas que variam entre os 120 – 130 m, sendo constituídos por seixos bem rolados, presentes em menor quantidade, e areias e materiais argilosos mais abundantes.

Quanto à Unidade de Lourosa, esta apresenta grande complexidade. É constituída essencialmente por gnaisses, micaxistos e migmatitos com intercalações de diques anfibolíticos muito alterados. Encontra-se enquadrada pela falha transformante de Porto – Tomar e pelo cavalcamento de Pinheiro da Bemposta, ambos com direção Oeste.

O granito e o granodiorito gnáissico presentes pertencem aos designados Granitóides da Faixa Blastomilonítica de Oliveira de Azeméis. Estes constituem um grupo heterogéneo, ocupando o núcleo da Unidade de Lourosa. O maciço de Oliveira de Azeméis é constituído principalmente por granitos gnáissicos, que se estendem desde S. João da Madeira até Pinheiro da Bemposta. É ainda de referir que existe uma certa heterogeneidade relativamente à sua composição mineralógica, principalmente nas proporções relativas de moscovite – biotite; variam entre granitos gnáissicos quase exclusivamente moscovíticos a granitos de duas micas em proporções semelhantes.

2.3 Caracterização do solo

O solo existente no concelho de Oliveira de Azeméis é do tipo cambissolo, que constitui o solo mais representativo em Portugal (cerca de 31,4%). De um modo geral, estes solos são jovens, moderadamente desenvolvidos sobre uma rocha-mãe, pouco a moderadamente meteorizada. São predominantes em zonas mais húmidas e com relevo acentuado, derivando de uma rocha-mãe de origem granítica (Ferreira, 2004). Apresenta permeabilidade baixa a moderada, e quanto ao pH é um solo ácido.

Tendo como base a Carta Litológica de Portugal do Atlas do Ambiente Digital [W8], pode-se ainda dizer que os solos são cambissolos húmicos. São solos pouco evoluídos formados a partir de rochas não calcárias, tal como referido anteriormente, e que possuem um horizonte A úmbrico ou mólico.

É ainda de acrescentar que, segundo o relatório do Plano Diretor Municipal da Câmara Municipal de Oliveira de Azeméis, no concelho distinguem-se quatro unidades geotécnicas, de acordo com o seu carácter litogenético:

- Uma unidade constituída por depósitos aluvionares, que ocupam uma área de relativa importância ao longo dos rios e ribeiras, em particular ao longo dos rios Caima e Antuã.
- Solos areno-silto-argilosos de depósitos de cobertura, que são essencialmente formados por depósitos de vertente e por terraços marinhos do Pliocénico; são assim constituídos por fragmentos de cascalhos, seixos rolados, areias de várias granulometrias e materiais silto-argilosos.
- Solos residuais areno-siltosos dos granitos e quartzitos, provenientes da sua alteração físico-química.
- Solos residuais silto-argilosos do complexo de xistos, migmatitos e gnaisses, constituindo uma unidade muito heterogénea e englobando a maior parte da área do concelho de Oliveira de Azeméis.

2.4 Relevo, clima e hidrografia

2.4.1 Relevo

O concelho de Oliveira de Azeméis caracteriza-se pela baixa altitude média, com valores entre os 200 e os 250 m de altitude. No entanto, podem-se encontrar pontos com altitude acima dos 500 m, principalmente na parte Este do concelho, nas freguesias de Ossela, Pindelo, Carregosa e Fajões. A Oeste, nas freguesias de S. Martinho da Gândara e Loureiro, os valores das cotas são bastante mais baixos, atingindo por vezes valores inferiores a 100 m. Há uma diminuição gradual

da altitude de Este para Oeste, estando possivelmente relacionada com as diversas linhas de água existentes, que ao longo do tempo têm provocado a erosão e o encaixe mais ou menos profundo dos seus vales.

2.4.2 Clima

A caracterização climática do concelho de Oliveira de Azeméis torna-se difícil, uma vez que não existe uma estação meteorológica na área do concelho, devendo considerar-se a estação meteorológica de Aveiro.

Assim, consultando o Boletim Climatológico para o mês de junho de 2013, quando foram realizados os trabalhos de campo, é possível dizer que foi um mês seco a muito seco, caracterizado por uma grande variabilidade dos valores de temperatura do ar, com ocorrência de períodos frios e quentes. Considerando os valores registados para a estação meteorológica de Aveiro, a temperatura mínima média foi de 14,5 °C, a temperatura máxima média foi de 22,3 °C, a precipitação total foi de 37,2 mm e a intensidade máxima do vento registada foi de 49,7 km/h.

2.4.3 Hidrografia

O concelho de Oliveira de Azeméis insere-se na Bacia Hidrográfica do Vouga, sendo o seu afluente Caima o principal rio que o atravessa.

Este rio nasce na Serra da Freita, próximo de Albergaria da Serra, e atravessa as freguesias de Ossela e Palmaz, com uma orientação Nordeste – Sudoeste. O outro rio importante que atravessa o concelho é o rio Antuã, e que é erradamente designado rio Ínsua. Nasce na freguesia de Romariz, no concelho de Santa Maria da Feira, recebe no concelho de Oliveira de Azeméis, no lugar do Crasto, o rio Ul, indo desaguar na Ria de Aveiro nas proximidades de Estarreja. Tem também orientação geral Nordeste – Sudoeste e, do mesmo modo que o rio Caima, usa as falhas e fraturas existentes no terreno para estabelecer o seu vale.

Para além destes rios, a rede hidrográfica é caracterizada pela existência de pequenos rios e ribeiros, afluentes dos rios principais. No rio Caima, são de referir a Ribeira da Felgueira e a Ribeira da Fílvida, que limitam os concelhos de Oliveira de Azeméis e Sever do Vouga, e que se localizam na freguesia de Palmaz. No rio Antuã, os afluentes que existem são pouco significativos, devido à sua curta extensão. No rio Ul, são de referir o rio Cercal e a Ribeira do Pintor.

Verifica-se assim que a densidade da rede hidrográfica é variável, sendo mais densa a Este da linha definida pela margem esquerda dos rios Antuã e Ul. Esta característica é mais notória a Sudeste, o que pode ser explicado devido ao facto da topografia ser mais acentuada, o que implica um aumento da densidade das linhas de água. Por outro lado, a Nordeste existe uma área aplanada, nas freguesias de Cesar, Carregosa e Fajões, sendo drenada por um menor número de linhas de água.

Capítulo 3 - Métodos e Técnicas

3.1 Trabalho de Campo

Antes da realização do trabalho de campo, foi feita uma visita ao local, com vista ao seu reconhecimento e à definição da melhor estratégia a adotar durante a semana de campo. Depois, já no Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, foi definida uma grelha de amostragem quadrangular, com espaçamento de 10 m entre os pontos de amostragem, em ambiente SIG, usando o programa *QuantumGis 1.8.0* (versão Lisboa). Na área de estudo, a equipa de topografia da Câmara Municipal de Oliveira de Azeméis procedeu à implementação da malha quadrangular com espaçamento de 10 m, para que aos vértices da malha correspondessem os vértices da grelha de amostragem, ou seja, a cada vértice da malha implementada em campo iria corresponder um ponto de amostragem da grelha.

Em junho de 2013, procedeu-se à campanha de prospeção geofísica e à recolha das amostras de solo para posterior análise geoquímica. Como se pretendia que os resultados finais obtidos correlacionassem os dados adquiridos para a geofísica e os dados da análise geoquímica, a recolha das amostras de solo foi efetuada nos mesmos locais de amostragem onde foram adquiridos os dados geofísicos. Quanto à prospeção geofísica, foram adquiridos dados em 77 pontos de amostragem. Posteriormente, estes dados foram inseridos em ambiente SIG, após a sua análise e processamento. Dos pontos de aquisição de dados inicialmente considerados para a malha de amostragem, alguns não foram usados na aquisição de dados geofísicos, por diferentes razões (Figura 3.1):

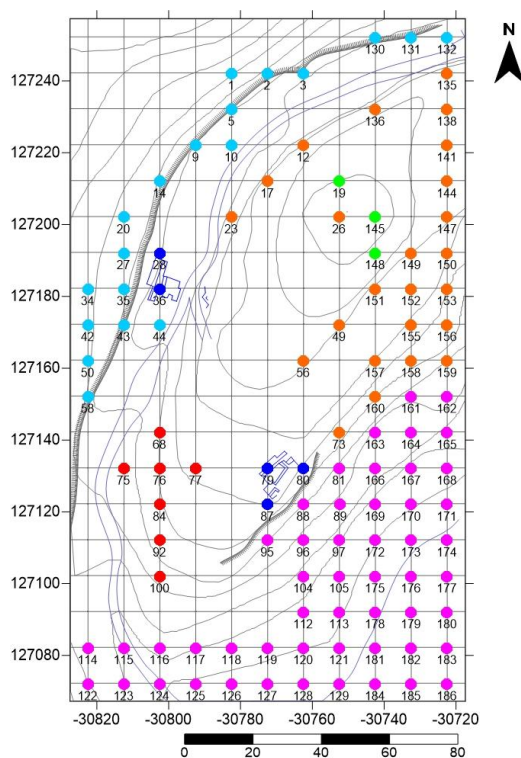


Figura 3.1 – Representação dos pontos onde não foram recolhidos dados, representados a vermelho, laranja, azul-turquesa, roxo, verde e azul-escuro (*software Surfer 8.0*) (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).

- Não foi feita a aquisição de dados nos pontos junto ao talude (representados a azul-claro), pois ao situarem-se próximo do talude poderiam surgir efeitos no modelo de inversão; não foi feita a aquisição dos dados nos pontos a Oeste do talude, devido à dificuldade no acesso.
- Os pontos representados a vermelho situam-se numa antiga pedreira de granito, onde a aquisição dos dados foi impossível, pois os blocos de granito afloravam à superfície.
- Nas zonas que correspondem às escavações arqueológicas existentes, representados a azul-escuro, não foram adquiridas medidas geofísicas por ser impossível a colocação do equipamento. Foi criado um ponto com designação 2829, próximo do ponto 28, de modo a ser possível a aquisição de dados geofísicos na proximidade da escavação.
- Nos pontos representados a verde-claro, a vegetação era muito densa, não sendo possível a aquisição dos dados.
- A roxo estão representados pontos opcionais, onde não foram adquiridos dados geofísicos, devido ao constrangimento de tempo disponível para a realização do trabalho de campo.
- Os pontos representados a laranja representam locais onde os dados adquiridos foram insuficientes ou onde os trabalhos agrícolas que aí decorriam impediram a aquisição dos dados ou onde não foi feita a aquisição dos dados por se situarem num talude muito inclinado, uma vez que esta inclinação impossibilitou a utilização do equipamento.

3.2 Aquisição de dados geofísicos

Uma das aplicações mais usadas atualmente para o método de resistividade elétrica é a deteção de objetos e/ou estruturas com interesse arqueológico. Para podermos proceder a esta deteção, em cada ponto de amostragem foi efetuada uma medição de resistividade, usando o dispositivo desenvolvido para esse efeito.

3.2.1 O Método de Resistividade Elétrica

De entre os principais métodos usados na prospeção geofísica, os métodos geoeletricos constituem um grande grupo, incluindo os métodos elétricos e os métodos eletromagnéticos.

A prospeção geofísica usando o método de resistividade elétrica tem em consideração a propriedade física dos materiais que se caracteriza pela sua capacidade de se deixarem atravessar, em maior ou menor grau, por uma corrente elétrica. Neste método, parte-se do pressuposto que, em geral, terrenos diferentes possuem resistividades elétricas diferentes. Num terreno, é injetada artificialmente corrente elétrica, procedendo-se depois ao estudo das diferenças de potencial registadas, como resposta à injeção de corrente. Estes dados são depois relacionados com as características geológicas do local.

Este método irá então permitir determinar a resistividade elétrica dos terrenos em estudo, bem como conhecer o modo como esta varia em profundidade.

É importante referir que existem vários fatores que podem influenciar o comportamento elétrico de uma rocha. Considerando que uma rocha é um material heterogéneo, constituído por uma fase sólida (matriz) e uma fase líquida ou gasosa intersticial, que preenche os seus poros, o comportamento elétrico dessa rocha irá depender da resistividade da matriz, da sua porosidade, da textura e distribuição dos poros, da resistividade do líquido intersticial e ainda de processos que possam ocorrer entre a superfície de contato dos constituintes da matriz e a fase líquida. É

ainda de realçar que os líquidos intersticiais, que preenchem total ou parcialmente os poros existentes na matriz, são muitas vezes soluções com sais minerais dissolvidos, com influência na resistividade elétrica da rocha.

No método de resistividade elétrica, como já foi referido anteriormente, é injetada uma corrente elétrica artificial no terreno. A injeção é efetuada usando dois elétrodos de corrente, que se designam por A e B. Mede-se a diferença de potencial resultante noutro par de elétrodos, os elétrodos de potencial, designados por M e N. Pode-se então calcular a resistividade elétrica do terreno, a partir das distâncias entre os elétrodos, a corrente aplicada e a diferença de potencial medida, tendo como base a Lei de Ohm. A Lei de Ohm parte do pressuposto que o meio é homogéneo, e é atravessado por uma corrente elétrica contínua (Telford et *al.*, 1990).

A resistividade de um material (no S.I, em ohm.m) será então definida como a resistência entre as faces opostas de um cubo de aresta unitária desse material, como esquematizado na Figura 3.2.

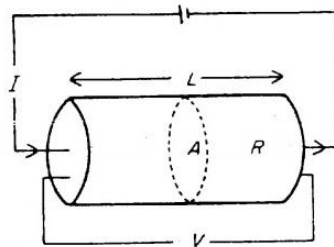


Figura 3.2 – Parâmetros usados na definição da resistividade elétrica de um dado material
(imagem retirada de <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779571804714/Resistividade.pdf>).

Num cilindro condutor de resistência elétrica R , comprimento L e área A , a resistividade ρ é dada pela expressão (Kearey et *al.*, 1984):

$$\rho = \frac{R A}{L}$$

em que R é calculada pela Lei de Ohm, de acordo com a expressão seguinte,

$$R = \frac{\Delta V}{I}$$

sendo ΔV a diferença de potencial entre dois pontos (no S.I. em volt, V), e I a intensidade da corrente elétrica (no S.I. em ampere, A).

Para calcular a diferença de potencial, substitui-se R na primeira expressão e obtém-se:

$$\Delta V = \frac{\rho L}{A} I$$

Considerando agora que uma corrente elétrica, com intensidade I , é injetada num ponto A na superfície de um terreno homogéneo e isotrópico, com resistividade elétrica ρ . As curvas equipotenciais, que ligam áreas com a mesma diferença de potencial, serão semi-esferas com centro no ponto A (Figura 3.3).

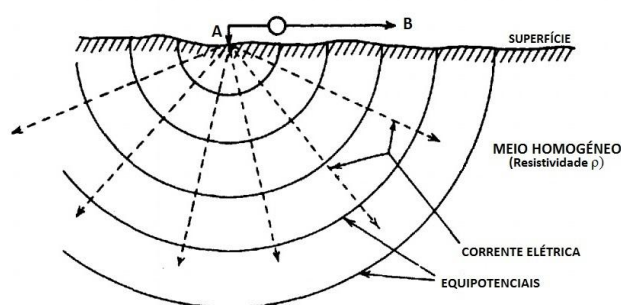


Figura 3.3 – Fluxo de corrente elétrica num meio homogêneo, a partir de um único eletrodo (A) colocado na superfície do terreno (adaptado de Telford *et al.*, 1990).

Neste caso, a expressão usada para calcular a diferença de potencial será diferente, uma vez que se exprime o valor potencial V num dado ponto M da superfície do terreno com resistividade elétrica ρ , e que se situa à distância r do ponto A onde foi injetada a corrente (Orellana, 1982):

$$\frac{V_M}{I} = \frac{\rho}{2\pi r}$$

A partir desta expressão, calcula-se a resistividade elétrica ρ :

$$\rho = 2\pi r \frac{V_M}{I}$$

Uma vez que o terreno não será homogêneo, a resistividade irá variar com a posição relativa dos eletrodos no terreno. O valor calculado irá designar-se então por resistividade aparente (ρ_a), expressa-se também em ohm.m e é calculado pela expressão

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} k$$

onde k , designado por fator geométrico, é expresso em metros e depende da configuração geométrica do dispositivo de medição usado e do meio.

Existem vários tipos de dispositivos geoeletricos usados, variando a colocação e a distância entre os eletrodos. Os mais comuns são os dispositivos de Wenner, Schlumberger, dipolo – dipolo, pólo – dipolo e pólo – pólo. Os fatores geométricos para cada um deles são calculados de forma diferente, uma vez que dependem da sua configuração geométrica.

Neste trabalho, para a aquisição dos dados geofísicos, foi usado um dispositivo do tipo pólo – pólo. Neste dispositivo, um dos eletrodos de corrente (B) é mantido a uma distância “infinito” do outro eletrodo de corrente (A), que permanece colocado no dispositivo. O mesmo acontece com os eletrodos de potencial, sendo um dos eletrodos (N) colocado no “infinito” e o outro posicionado no dispositivo (M). O critério usado para a colocação dos eletrodos no “infinito” (B e N), estabelece que estes estejam a uma distância 20 vezes superior ao espaçamento entre os eletrodos A e M, uma vez que o seu efeito será proporcional ao espaçamento a que se encontram dos dois eletrodos colocados no dispositivo, podendo ser desprezado.

Para este dispositivo, o fator geométrico k é calculado usando a seguinte expressão:

$$k = 2\pi a$$

sendo a a distância entre os elétrodos colocados no dispositivo.

A resistividade aparente ρ_a é então dada por

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} k$$

Todos os dispositivos apresentam algumas vantagens e desvantagens na sua utilização. Relativamente ao dispositivo pólo – pólo, é o que apresenta melhor cobertura horizontal durante a aquisição dos dados, uma vez que a perda de informação é mínima (Gandolfo et al., 2005). Como desvantagem, pode-se referir o facto de ser necessário algum espaço disponível para a sua instalação, uma vez que os elétrodos têm que ser colocados no “infinito”. É muitas vezes usado em campanhas onde o espaçamento entre os elétrodos não ultrapasse os 10 metros, sendo comum o seu uso em campanhas geofísicas aplicadas à arqueologia.

3.2.2 O Dispositivo Usado

O dispositivo usado (Figura 3.4) foi desenvolvido no âmbito da Tese de Dissertação de mestrado em Engenharia Geológica de Luís Daniel Café, em conjunto com Prof. Fernando Almeida.



Figura 3.4 – Dispositivo usado na aquisição dos dados da prospeção geofísica. É visível a estrutura de suporte em PVC, os elétrodos colocados nas posições devidas e o multicabo.

Resumidamente, este dispositivo é constituído por uma estrutura de suporte, de tubos em PVC, que tem como função guiar a colocação dos elétrodos, de modo a manter a sua geometria constante. Esta estrutura é constituída por dois tubos de maior diâmetro e quatro tubos de menor diâmetro, que encaixam perpendicularmente, formando uma espécie de grelha. Nos locais de encaixe dos tubos foram cravadas cavilhas, com o intuito de minimizar a sua rotação, o que iria causar erros na geometria e posteriormente afetar os dados adquiridos.

Os elétrodos de corrente e de potencial são então inseridos em orifícios previamente efetuados nos tubos, a uma distância fixa. É importante realçar que não existem folgas entre o diâmetro dos elétrodos e o diâmetro dos orifícios, de forma a minimizar possíveis erros de geometria. A colocação dos elétrodos na estrutura é feita alternadamente, de acordo com o esquema apresentado na Figura 3.5.

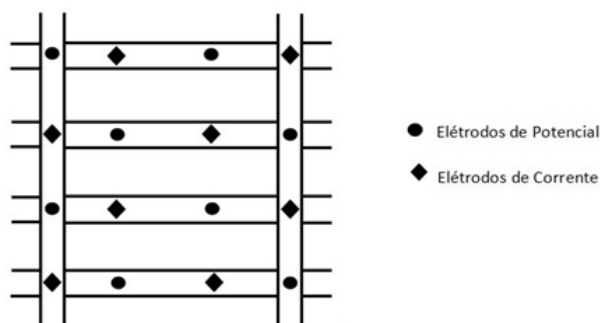


Figura 3.5 – Esquema de colocação dos elétrodos no dispositivo usado em campo.

Como fonte de corrente, foi usado o Resistivímetro SAS (*ABEM Terrameter SAS 300B*), pertencente ao laboratório de Geofísica II do Departamento de Geociências. Foi usado apenas como transmissor de corrente, emitindo sinais de corrente bem definidos.

Para a aquisição dos dados foram usados 16 elétrodos: 8 elétrodos de corrente e 8 elétrodos de potencial. Os elétrodos de corrente tinham como função injetar corrente elétrica no terreno, de modo a serem medidas as diferenças de potencial nos elétrodos de potencial.

Foram usadas estacas de aço inox, como elétrodos de corrente. Quanto aos elétrodos de potencial, estes foram construídos no Departamento de Geociências. Têm como particularidade o facto de serem não polarizáveis, pois a polarização do elétrodo iria provocar ruído durante a aquisição dos dados. Estes elétrodos são constituídos por tubos de PVC, que contêm no seu interior uma estaca de cobre (Cu) e sulfato de cobre (CuSO_4) na forma de sal. É na estaca de cobre que está ligado o cabo de ligação à unidade de aquisição dos dados, na extremidade superior do elétrodo. Na extremidade inferior, que fica em contacto com o terreno, foi colocada uma placa de cerâmica porosa; esta porosidade é necessária para os iões poderem circular entre o solo e o elétrodo, estabelecendo assim o contacto.

Uma vez que os elétrodos de corrente e de potencial têm diferentes funções, foi ainda necessário desenvolver um comutador, que permitisse controlar em que posição (elétrodo de corrente) seria injetada a corrente.

Para estabelecer a ligação entre os elétrodos de corrente e o resistivímetro, foi usado um multicabo, constituído por vários cabos elétricos isolados entre si, e que se encontram dentro de um invólucro de proteção isolado. O multicabo usado possui 12 *takeouts*, ou seja, 12 locais onde podem ser ligados os elétrodos de corrente. Como foram usados 8 elétrodos de corrente, apenas foram usados 8 *takeouts*.

As diferenças de potencial foram registadas por um sistema de aquisição ou DAQ (modelo NI USB-6218, da *National Instruments*), estando os elétrodos de potencial ligados a esta. A DAQ tem

como função converter o sinal medido nos elétrodos de potencial num sinal digital, que possa ser usado pelo computador. A ligação entre a DAQ e o computador faz-se via uma porta USB. Os dados são adquiridos através do *software* instalado no computador, tendo sido usado o *software* LabVIEW.

3.2.3 Aquisição e Processamento dos Dados Adquiridos

Dos pontos de amostragem considerados inicialmente, e como já foi referido anteriormente, foram adquiridos dados em 77 pontos. Os dados recolhidos em campo foram posteriormente processados, sendo inicialmente efetuado o processo de inversão, usando o *software* RES3DINV, de modo a obter um modelo tridimensional de resistividade. Os modelos de inversão foram exportados num formato que permitia que fossem trabalhados em ambiente SIG e em *Excel*, por forma a analisar os valores médios de resistividade, variações de resistividade em profundidade e desvios padrão, tendo sempre em consideração que os modelos de inversão possuem quatro níveis de investigação, até uma profundidade máxima de 1,40 m.

Os dados obtidos foram posteriormente analisados, considerando os parâmetros:

- Resistividades Médias, para cada um dos quatro níveis de investigação;
- Variação da Resistividade Média em Profundidade, analisando a variação da resistividade média entre os diferentes níveis de investigação;
- Desvio Padrão da Resistividade, com o objetivo de analisar se um determinado ponto de aquisição de dados é mais homogéneo ou mais heterogéneo, em termos de composição do subsolo.

3.3 Aquisição de dados geoquímicos

Durante os trabalhos de campo foram também recolhidas amostras de solo, para serem posteriormente enviadas para análise geoquímica. A recolha das amostras foi efetuada logo após a aquisição dos dados geofísicos, tendo sido recolhidas 77 amostras de solo, uma para cada ponto de amostragem. Para a amostragem foi usado um trado manual, tendo-se recolhido a amostra até à profundidade máxima de 60 cm (Figura 3.6). É ainda de referir que a amostragem foi feita preferencialmente no interior da estrutura de suporte usada na aquisição dos dados geofísicos, para que esta fosse representativa dos dados geofísicos.



Figura 3.6 – Recolha das amostras de solo, usando um trado manual.

As amostras de solo recolhidas em campo foram armazenadas, individualmente, em sacos de plástico. Cada um dos sacos foi identificado no exterior com a referência da amostra e foi colocada no seu interior uma etiqueta de papel com a referência escrita a lápis, de modo a não ocorrerem perdas de informação.

A Figura 3.7 representa os pontos onde foi feita a aquisição de dados geofísicos e a recolha de amostras de solo para análise geoquímica.

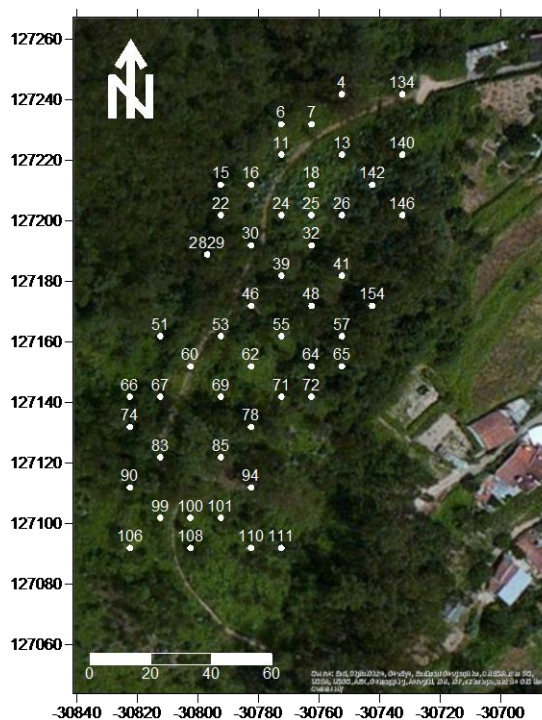


Figura 3.7 – Representação dos pontos onde foi efetuada a aquisição de dados geofísicos e a recolha de amostras de solo para análise geoquímica (*software Surfer 8.0*) (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).

3.3.1 Preparação Física das Amostras

Após o seu transporte para o Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, as amostras sofreram um tratamento físico, realizado no Laboratório de Preparação Física das Amostras. De forma a evitar a possível contaminação das amostras, todo o material usado (incluindo os tabuleiros de plástico, os peneiros e as espátulas) foi lavado, seco e limpo com álcool etílico a 96%, antes da preparação de cada uma das amostras.

As amostras de solo foram colocadas em tabuleiros de plástico e secas numa estufa à temperatura máxima de 50⁰C durante cerca de 24 a 72 horas. Posteriormente foram sujeitas a um primeiro peneiramento manual, usando um peneiro de 4,75 mm. De forma a identificar/classificar os fragmentos obtidos para cada uma das amostras, os fragmentos foram lavados e secos em estufa. Estes fragmentos foram arquivados em sacos de plástico, devidamente etiquetados.

A Figura 3.8 sintetiza o tratamento físico a que foram submetidas as amostras recolhidas e cujos procedimentos serão descritos em detalhe.

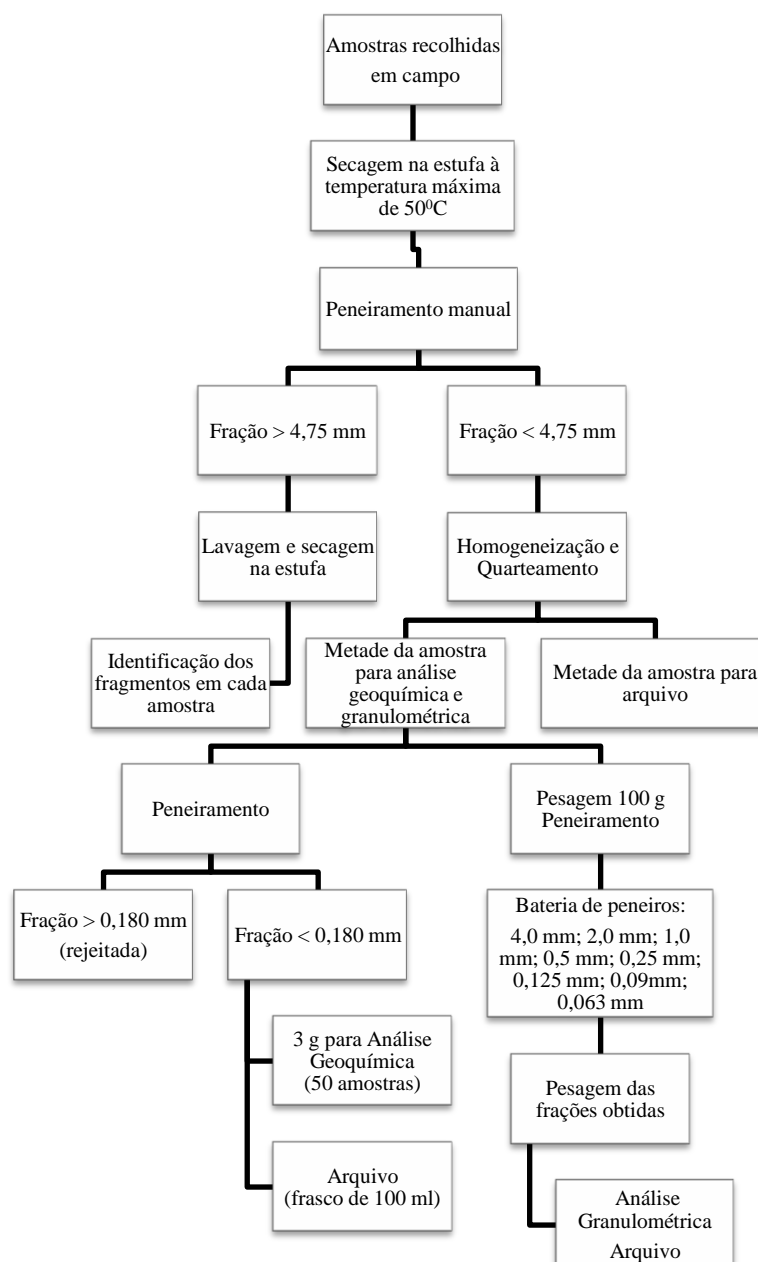


Figura 3.8 – Diagrama representativo das diferentes etapas da preparação física das amostras de solo.

3.3.2 Análise granulométrica

A análise da dimensão das partículas que constituem os depósitos sedimentares irá permitir perceber algumas das suas características, nomeadamente o tipo de rochas a partir das quais foram originados; o tipo e extensão do transporte que sofreram, que está relacionado com a composição dos sedimentos, a sua resistência à abrasão e à alteração química; os ambientes deposicionais em que se formaram as rochas sedimentares.

Assim, é útil efetuar a análise granulométrica das amostras de solo recolhidas, tendo como objetivo determinar as dimensões das partículas que constituem as amostras, que serão representativas dos sedimentos existentes na área de estudo, e o posterior tratamento estatístico dos dados obtidos. As partículas são divididas em classes dimensionais ou granulométricas,

consoante a sua dimensão, sendo a amplitude das classes consideradas determinante, uma vez que quanto menor a amplitude das classes melhor será a descrição da variabilidade da dimensão das partículas que constituem o sedimento.

Existem várias técnicas que podem ser usadas para a separação granulométrica das partículas, sendo a mais comum o peneiramento. São usados peneiros (ou crivos), que consistem num aro, geralmente metálico (de latão, alumínio, etc.), que serve de suporte a uma rede, normalmente metálica, mas que pode ser de plástico. A malha da rede é calibrada, ou seja, sabemos que só passam na rede partículas com uma dimensão inferior à sua abertura; as partículas de dimensão maior ficam aí retidas.

Os peneiros têm um formato que permite que sejam encaixados uns nos outros, formando um conjunto ou bateria de peneiros, isto é, irão constituir uma coluna de peneiramento em que são separadas partículas de granulometrias sucessivamente mais baixas. Na parte superior da bateria de peneiros é colocada uma tampa, de modo a evitar perdas de material durante o peneiramento. Na base, usa-se um peneiro “cego” (ou “pan”), onde irão ficar armazenadas as partículas mais pequenas, que atravessaram toda a coluna sem serem retidas em nenhum dos peneiros. A bateria de peneiros é depois colocada num agitador, que lhes vai imprimir movimentos de elevada frequência e que são simultaneamente verticais e horizontais, permitindo a separação das partículas. O tempo de peneiramento vai depender do peso da amostra usado, sendo normalmente de 10 a 15 minutos. A escolha da abertura dos peneiros a utilizar irá depender do objetivo do peneiramento. A Figura 3.9 mostra o agitador utilizado no peneiramento das amostras de solo, bem como a bateria de peneiros usada.



Figura 3.9 – Agitador e bateria de peneiros usados na análise granulométrica das amostras de solo.

Após o peneiramento, o material recolhido em cada uma das frações é pesado, sendo normal que o peso total das frações seja ligeiramente inferior ao da amostra inicial, uma vez que durante todo o processo poderão perder-se algumas partículas. São aceitáveis perdas até 2% do peso da amostra inicial [W7]. Antes de prosseguir para o peneiramento da amostra seguinte, é necessário

proceder à limpeza dos peneiros, usando uma pistola de ar, de modo a retirar qualquer partícula que aí possa ter ficado presa e que iria contaminar a nova amostra a peneirar.

No âmbito deste trabalho, da fração inferior a 4,75 mm de cada uma das amostras de solo a analisar foram retirados 100 g, após o seu quarteamento. Esta porção de amostra foi sujeita a peneiramento mecânico, usando um agitador durante cerca de 10 minutos, tendo sido usada uma bateria de peneiros com aberturas de 4,0 mm, 2,0 mm, 1,0 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 mm, 0,09 mm e 0,063 mm. A Figura 3.10 apresenta um exemplo das diferentes frações retidas a partir do procedimento definido anteriormente.



Figura 3.10 – Separação de uma amostra nas suas diferentes frações granulométricas (amostra 39).

Os pesos obtidos para cada uma das classes granulométricas foram registados, sendo posteriormente usados para calcular os parâmetros coeficiente de curvatura e coeficiente de uniformidade, para cada uma das amostras.

A fração inferior a 4,75 mm foi também sujeita ao tratamento necessário para o posterior envio para análise geoquímica. Guardou-se metade desta fração em sacos devidamente identificados, e quarteou-se o restante. O peneiramento foi efetuado com um peneiro de 0,180 mm, usando um agitador mecânico durante cerca de 10 minutos. Da fração inferior a 0,180 mm obtida foram retirados 3g, e colocados num saco de plástico referenciado, para ser enviado para análise geoquímica. A restante fração inferior a 0,180 mm foi arquivada em recipientes de 100 ml, também devidamente identificados.

3.3.3 Análise química das amostras

Por questões orçamentais, das 77 amostras de solo inicialmente recolhidas e tratadas em laboratório, foram selecionadas 50 amostras para serem enviadas para análise geoquímica. A seleção destas amostras foi efetuada de modo a que a distância máxima entre os pontos

escolhidos fosse de cerca de 14 m, correspondendo à hipotenusa de um triângulo retângulo de 10x10 m.

As amostras foram posteriormente enviadas para análise geoquímica, para o laboratório canadiano acreditado *Bureau Veritas Minerals Laboratories (ACME Analytical Laboratories Ltd)*. O método analítico usado designa-se por Espectroscopia de Emissão de Plasma (ICP-MS), e usa 0,25 g de amostra decomposta com $\text{HClO}_4\text{-HNO}_3\text{-HCl-HF}$ a elevada temperatura, seguida de uma diluição do resíduo em HCl (Coelho, 2011).

Foram analisados 46 elementos químicos diferentes (Ag, Al, As, Au, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, Hf, In, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Rb, Re, S, Sb, Se, Sc, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Ti, Tl, U, W, Y, V, Zn, Zr), pela técnica de ICP-MS. Esta técnica analítica é usada em várias áreas, tais como geoquímica, ambiente, medicina, química e metalurgia. Foi escolhida para a análise geoquímica das amostras de solo recolhidas, uma vez que permite fazer a determinação de vários elementos químicos presentes em níveis traço, tendo como vantagem a velocidade de análise e os limites de deteção.

O Quadro 3.1 apresenta os limites de deteção (MDL) para os 46 elementos químicos analisados.

Quadro 3.1 - Limite de deteção (MDL) do método para os 46 elementos químicos analisados por ICP-MS.

Elemento	MDL	Elemento	MDL	Elemento	MDL	Elemento	MDL
Ag	0,1 ppm	Cu	0,1 ppm	Ni	0,1 ppm	Te	0,5 ppm
Al	0,01 %	Fe	0,01 %	P	0,001 %	Th	0,1 ppm
As	1 ppm	Hf	0,1 ppm	Pb	0,1 ppm	Ti	0,001 %
Au	0,1 ppm	In	0,05 ppm	Rb	0,1 ppm	Tl	0,5 ppm
Ba	1 ppm	K	0,01 %	Re	0,005	U	0,1 ppm
Be	1 ppm	La	0,1 ppm	S	0,1 %	V	1 ppm
Bi	0,1 ppm	Li	0,1 ppm	Sb	0,1 ppm	W	0,1 ppm
Ca	0,01%	Mg	0,01 %	Sc	1 ppm	Y	0,1 ppm
Cd	0,1 ppm	Mn	1 ppm	Se	1 ppm	Zn	1 ppm
Ce	1 ppm	Mo	0,1 ppm	Sn	0,1 ppm	Zr	0,1 ppm
Co	0,2 ppm	Na	0,001 %	Sr	1 ppm		
Cr	1 ppm	Nb	0,1 ppm	Ta	0,1 ppm		

Os resultados obtidos para as análises geoquímicas das amostras de solo encontram-se no Anexo III. As concentrações dos elementos químicos encontram-se em partes por milhão (ppm), exceto para o Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, S e Ti, que se encontram em percentagem.

3.4 Análise de dados geoquímicos e geofísicos

3.4.1 A Análise de Componentes Principais (ACP)

Para a análise estatística dos resultados obtidos, quer para a prospeção geofísica quer para os resultados da análise geoquímica, foi usada a análise de componentes principais (ACP). Esta constitui um método de análise da estatística multivariada, particularmente útil quando as matrizes de dados a analisar são de grandes dimensões e existe uma forte correlação entre as variáveis originais.

Assim, esta análise irá permitir reduzir o número de variáveis necessárias para descrever um conjunto de indivíduos, tendo o cuidado de perder a menor quantidade de informação possível

durante o processo. Permite, desta forma, eliminar sobreposições de dados e escolher quais serão as novas variáveis mais representativas dos dados, através do estabelecimento de combinações lineares entre as variáveis originais.

Deste modo, vão ser criadas novas variáveis, que são designadas por eixos fatoriais, componentes principais ou componentes, e que são extraídas por ordem decrescente da variância explicada (Ferreira, 2004). Os primeiros componentes principais a serem extraídos irão permitir explicar a maior parte dos dados, logo têm maior variância. Ou seja, a análise de componentes principais vai permitir transformar um conjunto de variáveis originais num novo conjunto de variáveis designadas por componentes principais, que serão em número igual ou inferior ao número de variáveis originais.

A análise de componentes principais é constituída por vários elementos, entre os quais os vetores próprios (*eigenvectors*), os valores próprios (*eigenvalues*), o peso dos fatores (*factor loadings*) e a pontuação dos fatores (*factor scores*), cada um desses com um significado. Os vetores próprios irão corresponder ao conjunto de componentes principais, eixos ou fatores, extraídos a partir de uma matriz de dados sob a forma de eixos; são as novas variáveis que são criadas. Por sua vez, os valores próprios correspondem ao comprimento dos vetores próprios, isto é, representam a quantidade de variância dos dados explicada pelo respetivo eixo. O peso dos fatores reflete a importância de cada variável para o valor da variância de cada vetor próprio (componente principal).

As componentes principais (fatores ou eixos) são calculadas sucessivamente, como já foi referido. A variância total dos dados só seria totalmente explicada pelo primeiro eixo se os coeficientes de correlação das variáveis iniciais fossem iguais a 1 e/ou -1. Isto na prática não se verifica, logo cada uma das componentes principais explica parte da variância dos dados, sendo a última componente a que explica a menor variância. Isto significa que são os primeiros eixos que geralmente apresentam maior interesse na análise dos dados.

Uma análise deste tipo é representada graficamente por uma circunferência com raio unitário, designado por círculo de correlação, com centro na origem dos eixos do plano fatorial. Quanto mais próximas do círculo se encontrarem as variáveis, mais correlacionadas estão no plano, sendo maior a correlação entre si quanto mais próximas se encontrarem. Do mesmo modo, quanto mais próximas estão de um dado eixo, maior a sua correlação com este. Quanto mais próximas se encontrarem da origem dos eixos, menos correlacionadas estão com o plano e serão inconclusivas (Pereira e Sousa, 1991). A área onde as variáveis não estão bem representadas está limitada entre -0,5 e 0,5.

É ainda importante referir que este é um método estatístico totalmente independente do utilizador, e que não depende do tipo de dados iniciais que são usados. Não são feitos ajustes dos parâmetros considerados e os resultados obtidos não dependem da forma em que os dados foram adquiridos.

Capítulo 4 - Análise e interpretação de resultados

O objetivo deste capítulo é analisar os resultados obtidos na análise geoquímica das amostras de solo, tendo como objetivo fornecer um conjunto de parâmetros de síntese, que permita descrever e caracterizar possíveis anomalias existentes na área de estudo. Por outro lado, pretende-se neste estudo estabelecer um estudo comparativo com os resultados da campanha de geofísica realizada por Luís Daniel Café e cujos resultados foram amplamente discutidos na sua Tese de Dissertação.

4.1 Análise Granulométrica das Amostras de solo

Tal como referido no ponto 3.3.2, foi realizada a análise granulométrica das 77 amostras de solo recolhidas, usando o método de peneiramento. A análise granulométrica de um solo constitui uma das ferramentas que podem ser usadas na sua identificação, sendo definida como a distribuição em percentagem de peso total das partículas que constituem uma amostra de solo, de acordo com as suas dimensões (Matos Fernandes, 2000). As partículas que constituem um solo podem ser classificadas consoante a sua dimensão, existindo várias classificações diferentes. No âmbito deste estudo foi considerada a classificação apresentada no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Classificação das partículas constituintes de um solo, de acordo com a sua dimensão.

Dimensão das partículas (mm)	Designação
60 – 2	Pedregulho
2 – 0,063	Areia
0,063 – 0,00394	Silte
< 0,00394	Argila

Para a classificação das amostras de solo em estudo, foram calculadas as percentagens ponderais de areia, silte e argila presentes em cada uma das amostras. Os valores obtidos para as percentagens ponderais foram depois projetados no diagrama triangular (Figura 4.1), de forma a classificar o tipo de solo presente. Para essa projeção foi usada a aplicação disponível no *site National Resources Conservation Service, Soils – United States Department of Agriculture*.

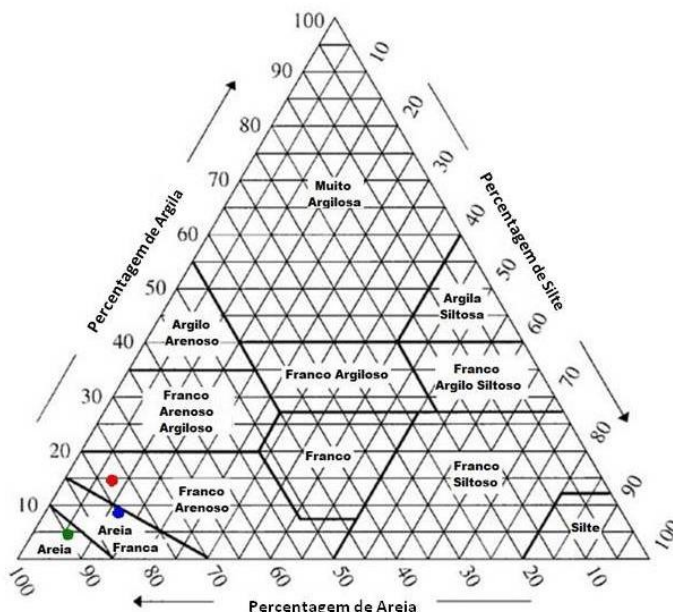


Figura 4.1 – Classificação de três amostras representativas de solo (vermelho – amostra 4, verde – amostra 32, azul – amostra 69), que representam os três tipos de solo presentes nas amostras em estudo (projetado usando o site https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167).

No Quadro 4.2 estão agrupadas por tipo as amostras de solo, de acordo com a classificação utilizada.

Quadro 4.2 – Classificação das 77 amostras de solo, de acordo com análise granulométrica.

Tipo de Solo	Amostras
Areia	15, 18, 21, 22, 32, 52, 102, 103, 108, 111, 154
Areia Franca	4, 6, 7, 8, 11, 13, 16, 24, 26, 28, 29, 30, 31, 33, 38, 39, 40, 41, 45, 46, 47, 48, 51, 53, 54, 55, 57, 59, 60, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 70, 71, 72, 74, 82, 83, 85, 86, 90, 91, 93, 94, 98, 99, 101, 106, 109, 110, 133, 134, 137, 139, 142, 143, 146
Franco Arenosa	25, 61, 69, 78, 107, 140

Assim, grosso modo, o solo da área de estudo será do tipo areia franca, uma vez que a maioria das amostras é constituída por esse tipo de solo. Seguem-se as amostras do tipo areia, e por fim as amostras do tipo franco arenoso, que será o menos abundante na área de estudo.

Para além da classificação do solo, a análise granulométrica teve como principal objetivo determinar as dimensões das partículas que constituem as amostras de solo, bem como a proporção em que aparecem em cada uma das amostras. Dos resultados obtidos, foi traçada a curva granulométrica para cada uma das amostras de solo. A partir dessas curvas granulométricas, foram calculados os valores do diâmetro efetivo (D_{10}), do coeficiente de curvatura (C_c) e do coeficiente de uniformidade (C_u), que permitem caracterizar o tipo de solo presente na área de estudo.

O coeficiente de curvatura (C_c) permite inferir sobre a forma e simetria da curva granulométrica correspondente à amostra de solo. É calculado usando a expressão:

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

em que D_{10} , D_{30} e D_{60} correspondem ao diâmetro das partículas em que 10%, 30% e 60% das partículas que constituem a amostra são inferiores a esse diâmetro, respetivamente. A D_{10} atribui-se também a designação de diâmetro efetivo. Se $C_c < 1$ ou $C_c > 3$, diz-se que o solo é mal graduado; por outro lado, se $1 < C_c < 3$, diz-se que o solo é bem graduado.

Quanto ao coeficiente de uniformidade (C_u), este indica a variabilidade de dimensões que as partículas que constituem a amostra de solo apresentam. Permite assim inferir sobre a diversidade de classes granulométricas presentes, sendo maior o seu valor quanto maior for essa diversidade. Obtém-se a partir da expressão:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Se $C_u < 5$, diz-se que o solo é uniforme; se $C_u > 15$, diz-se que o solo é não uniforme; por fim, se $5 < C_u < 15$, diz-se que o solo é medianamente uniforme.

Na Figura 4.2 está representada a cartografia espacial dos valores do coeficiente de curvatura (C_c) e coeficiente de uniformidade (C_u) na área em estudo.

Da análise da figura, podemos dizer que os solos correspondentes às amostras 13, 16, 24, 45, 47, 54, 61, 62, 64, 69, 78, 107, 19, 146 são bem calibrados, uma vez que apresentam valores de coeficiente de curvatura superiores a 1. As restantes amostras correspondem a solos mal graduados, com coeficiente de curvatura inferior a 1. Relativamente ao coeficiente de uniformidade, as amostras 11, 22, 61, 65, 69, 78, 102, 103, 107, 108 correspondem a um solo uniforme, pois o seu valor de coeficiente de uniformidade é inferior a 5. As restantes amostras correspondem a solos medianamente uniformes, pois os seus valores de coeficiente de uniformidade encontram-se entre 5 e 15, sendo o valor mais elevado 10,3 registado na amostra 146.

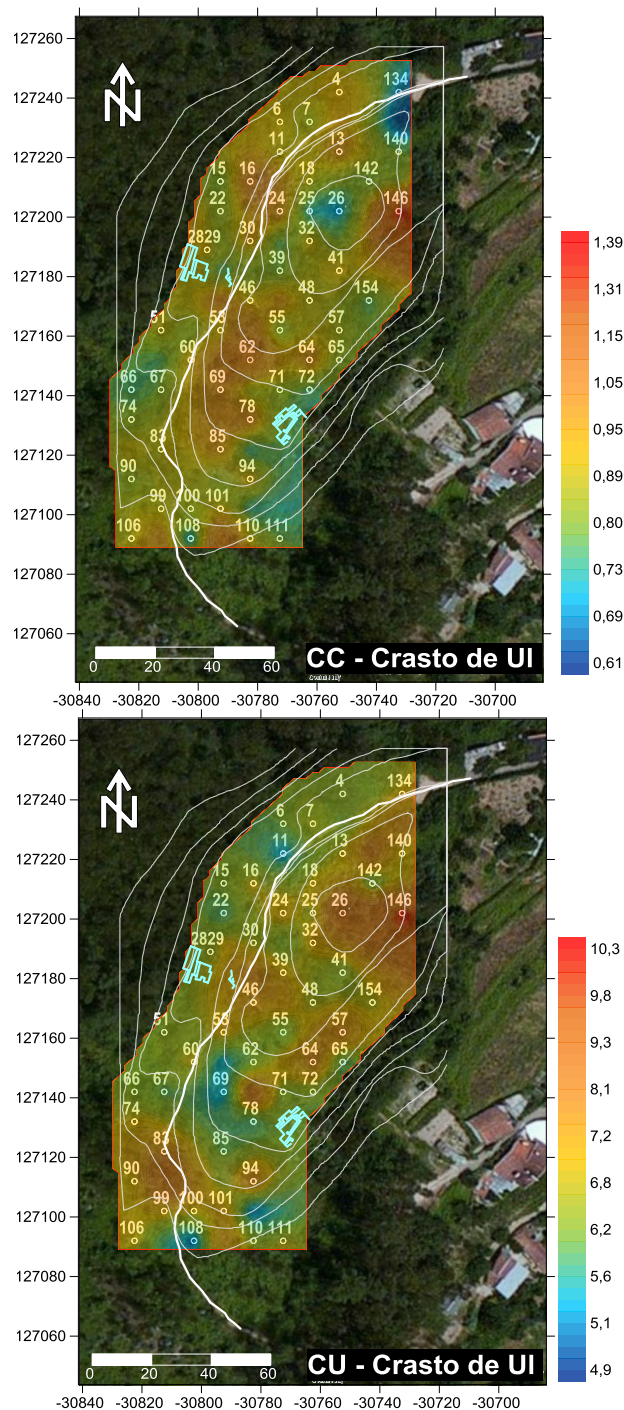


Figura 4.2 – Cartografia espacial dos valores do (a) coeficiente de curvatura (C_c) e (b) coeficiente de uniformidade (C_u), utilizando o *software Surfer 8.0*. (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).

Quanto aos fragmentos presentes na fração superior a 4,75 mm, estes foram classificados em cinco tipos: (a) cerâmica vermelha, (b) cerâmica branca, (c) cerâmica indiferenciada, (d) carvão e (e) seixos rolados. Na Figura 4.3 e Figura 4.4 estão representados exemplos dos diferentes fragmentos encontrados, na fração superior a 4,75mm.



Figura 4.3 – Exemplos de fragmentos de (a) superior cerâmica vermelha; (b) cerâmica branca. (c) cerâmica indiferenciada; (d) fragmentos de carvão, encontrados na fração superior a 4,75 mm.



Figura 4.4 - Exemplos de fragmentos de seixos rolados encontrados na fração superior a 4,75 mm.

A Figura 4.5 apresenta a distribuição da ocorrência dos diferentes tipos de fragmentos pela área em estudo.

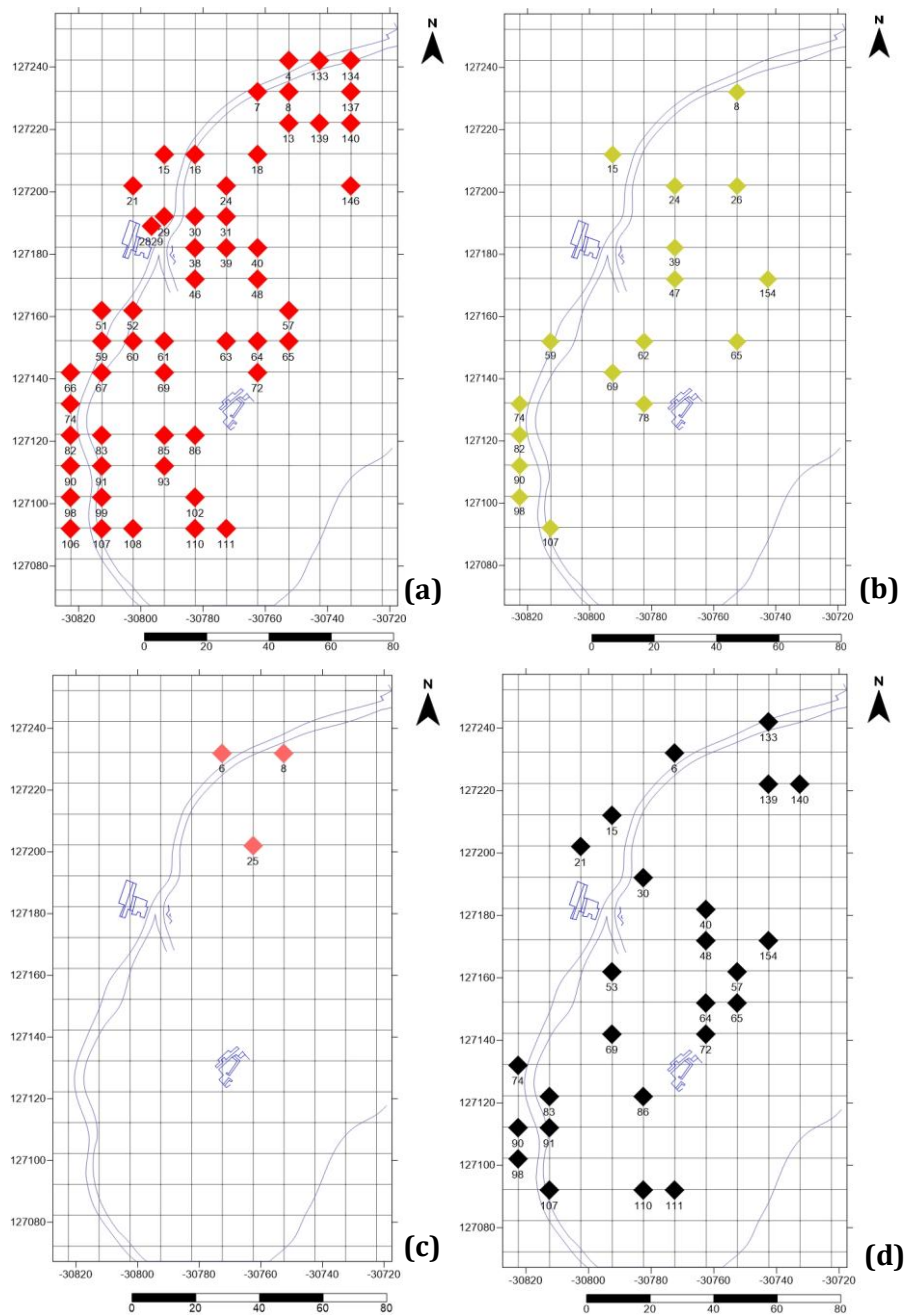


Figura 4.5 – Localização de fragmentos de (a) cerâmica vermelha; (b) cerâmica branca; (c) cerâmica indiferenciada; (d) fragmentos de carvão, contidos na fração superior a 4,75 mm, utilizando o *software Surfer 8.0*. (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).

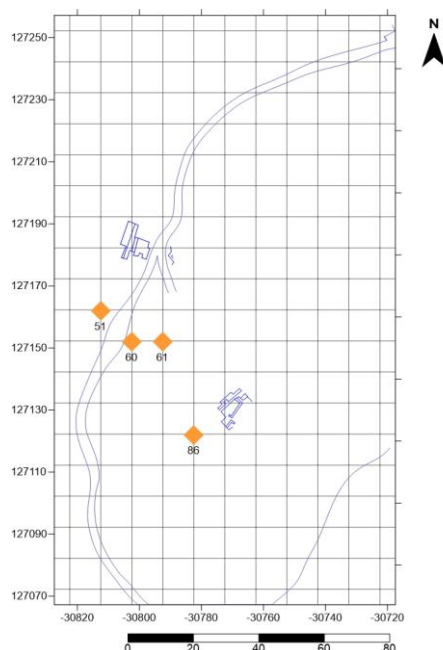


Figura 4.6 – Representação das amostras onde foram encontrados fragmentos de seixos rolados, contidos na fração superior a 4,75 mm, utilizando o *software Surfer 8.0*. (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).

Pela análise da Figura 4.5(a), é possível verificar que os fragmentos de cerâmica vermelha são os mais abundantes na área de estudo, o que confirma a existência no passado de presença humana no local. Estão distribuídos de forma praticamente uniforme, com representação em praticamente todos os sectores da área de estudo. Verificou-se a presença de fragmentos mais abundantes e/ou de maiores dimensões, nas amostras correspondentes aos pontos 21, 48, 61, 74, 82, 93 e 146.

Os fragmentos de cerâmica branca (Figura 4.5(b)) são menos abundantes, em relação aos fragmentos de cerâmica vermelha. Estão distribuídos ao longo da área de estudo, verificando-se uma concentração de amostras com fragmentos deste tipo de cerâmica no setor Sudoeste. As amostras número 8, 69, 98 e 107 são as que apresentam fragmentos de cerâmica branca mais abundantes ou de maiores dimensões.

Quanto às amostras onde se registaram fragmentos de cerâmica indiferenciada (Figura 4.5(c)), verifica-se que estas se encontram relativamente concentradas numa região, no setor Norte da área de estudo. A amostra número 8 é a que apresenta maior quantidade de fragmentos de cerâmica indiferenciada.

As amostras onde foram encontrados fragmentos de carvão na fração superior a 4,75 mm, encontram-se distribuídas de forma uniforme por toda a área de estudo. As amostras número 21, 53 e 69 são as que apresentam fragmentos maiores e mais abundantes. Segundo as indicações de Maia Marques sobre o Castro de UI, terá ocorrido um incêndio no local no século IV, sendo, no entanto, difícil de distinguir se estes fragmentos serão provenientes desse incêndio ou de outro incêndio posterior que tenha ocorrido no local. Estas amostras estão representadas na Figura 4.5(d).

O Quadro 4.3 apresenta as concentrações dos elementos Ag, As, Ba, Bi, Br, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Ga, Hf, La, Mn, Mo, Nb, Nd, Ni, Pb, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Tl, U, V, W, Y, Yb, Zn e Zr nos fragmentos de argila vermelha e argila branca.

As outras tipologias não foram analisadas, em virtude da escassa quantidade de material para análise. As amostras foram analisadas por Fluorescência de RX, no Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.

Quadro 4.3 – Resultados obtidos na análise por Fluorescência de RX dos fragmentos de cerâmica vermelha (CV) e cerâmica branca (CB).

Elemento	Unidade	CB	CV	Elemento	Unidade	CB	CV
Ag	(mg kg ⁻¹)	ND	ND	Sb	(mg kg ⁻¹)	ND	ND
As	(mg kg ⁻¹)	4,5	14,5	Sc	(mg kg ⁻¹)	11,8	12,1
Ba	(mg kg ⁻¹)	252,9	255,3	Se	(mg kg ⁻¹)	ND	ND
Bi	(mg kg ⁻¹)	ND	ND	Sm	(mg kg ⁻¹)	10,4	6,6
Br	(mg kg ⁻¹)	29,3	26	Sn	(mg kg ⁻¹)	19,4	27,3
Cd	(mg kg ⁻¹)	ND	ND	Sr	(mg kg ⁻¹)	25,9	39,5
Ce	(mg kg ⁻¹)	90,2	84,2	Ta	(mg kg ⁻¹)	ND	ND
Co	(mg kg ⁻¹)	ND	ND	Te	(mg kg ⁻¹)	ND	ND
Cr	(mg kg ⁻¹)	93,9	109,7	Th	(mg kg ⁻¹)	18,4	19,5
Cs	(mg kg ⁻¹)	9,1	13,1	Tl	(mg kg ⁻¹)	ND	2,8
Cu	(mg kg ⁻¹)	22,1	8,1	U	(mg kg ⁻¹)	4,8	5,8
Ga	(mg kg ⁻¹)	40,2	27,4	V	(mg kg ⁻¹)	97,7	79,2
Hf	(mg kg ⁻¹)	4,6	5,1	W	(mg kg ⁻¹)	5,3	10,8
La	(mg kg ⁻¹)	45,1	41,1	Y	(mg kg ⁻¹)	22,3	27,9
Mn	(mg kg ⁻¹)	82,6	113,6	Yb	(mg kg ⁻¹)	ND	ND
Mo	(mg kg ⁻¹)	ND	ND	Zn	(mg kg ⁻¹)	50	41,5
Nb	(mg kg ⁻¹)	20,6	20,2	Zr	(mg kg ⁻¹)	246	230,6
Nd	(mg kg ⁻¹)	39,5	36,2				
Ni	(mg kg ⁻¹)	19,8	15				
Pb	(mg kg ⁻¹)	93,2	48,4				
Rb	(mg kg ⁻¹)	84,5	105,4				

ND – não determinado

De acordo com os resultados obtidos, constata-se que ambas as cerâmicas apresentam composições químicas semelhantes, embora as cerâmicas brancas apresentem maior enriquecimento em Ce, Ga, Pb e V, enquanto as cerâmicas vermelhas apresentam maior enriquecimento em As, Cs, Mn, Rb, Sn, Sr e W.

4.2 Geofísica

4.2.1 Aquisição e processamento dos dados adquiridos

Dos pontos de amostragem considerados inicialmente, como já foi referido anteriormente no Capítulo 3, foram adquiridos dados no âmbito da prospeção geofísica em 77 pontos (Figura 3.7).

4.2.1.1 Resistividades Médias

Os valores das resistividades médias foram calculados através da média da resistividade obtida para cada nível de investigação, em cada um dos pontos de aquisição de dados. Os modelos de inversão gerados apresentam quatro níveis de investigação, cada um deles sendo definido por nove pontos de dados. Deste modo, a média dos valores de resistividade foi calculada para cada nível de investigação, através do cálculo da média da resistividade nos nove pontos. Para calcular

a média de resistividade global, isto é, para os quatro níveis de investigação em cada ponto de aquisição de dados, foi calculada a média das médias de resistividade de cada nível de investigação. Os dados geofísicos obtidos, após o seu tratamento, encontram-se no Anexo II.

A Figura 4.7 apresenta a cartografia dos valores de Resistividade Média (RM) para os quatro níveis de investigação (n1, n2, n3 e n4).

Analisando a Figura 4.7(a), que representa os valores de resistividade média para o primeiro nível de investigação (n1), verifica-se que os valores mais elevados de resistividade média se concentram na região correspondente aos pontos de amostragem 72 e 146 (10930 e 7805 ohm.m, respetivamente). Por outro lado, o valor mais baixo de resistividade média, registado para este nível mais superficial, é de 1330 ohm.m (ponto de amostragem 134).

Para o segundo nível de investigação (n2) (Figura 4.7(b)), o ponto de amostragem onde foi registado o valor mais elevado de resistividade média é novamente o ponto 72, sendo de 12199 ohm.m. O valor mais baixo é de 1388 ohm.m, novamente no ponto de amostragem 134. É ainda de realçar, um aumento nos valores de resistividade média registados, na globalidade dos pontos de aquisição de dados. Mantêm-se os pontos de amostragem com os valores de resistividade média mais baixos, formando dois aglomerados bem visíveis.

O valor mais elevado de resistividade média, registado no terceiro nível de investigação (n3) (Figura 4.7(c)), é de 12431 ohm.m, no ponto 72, enquanto o valor mais baixo é de 1354 ohm.m, no ponto de amostragem 134. Na globalidade dos pontos, verifica-se um aumento nos valores de resistividade média.

Há um aumento significativo na distribuição dos pontos de amostragem com valores mais elevados de resistividade média, para o quarto nível de investigação (n4) (Figura 4.7(d)).

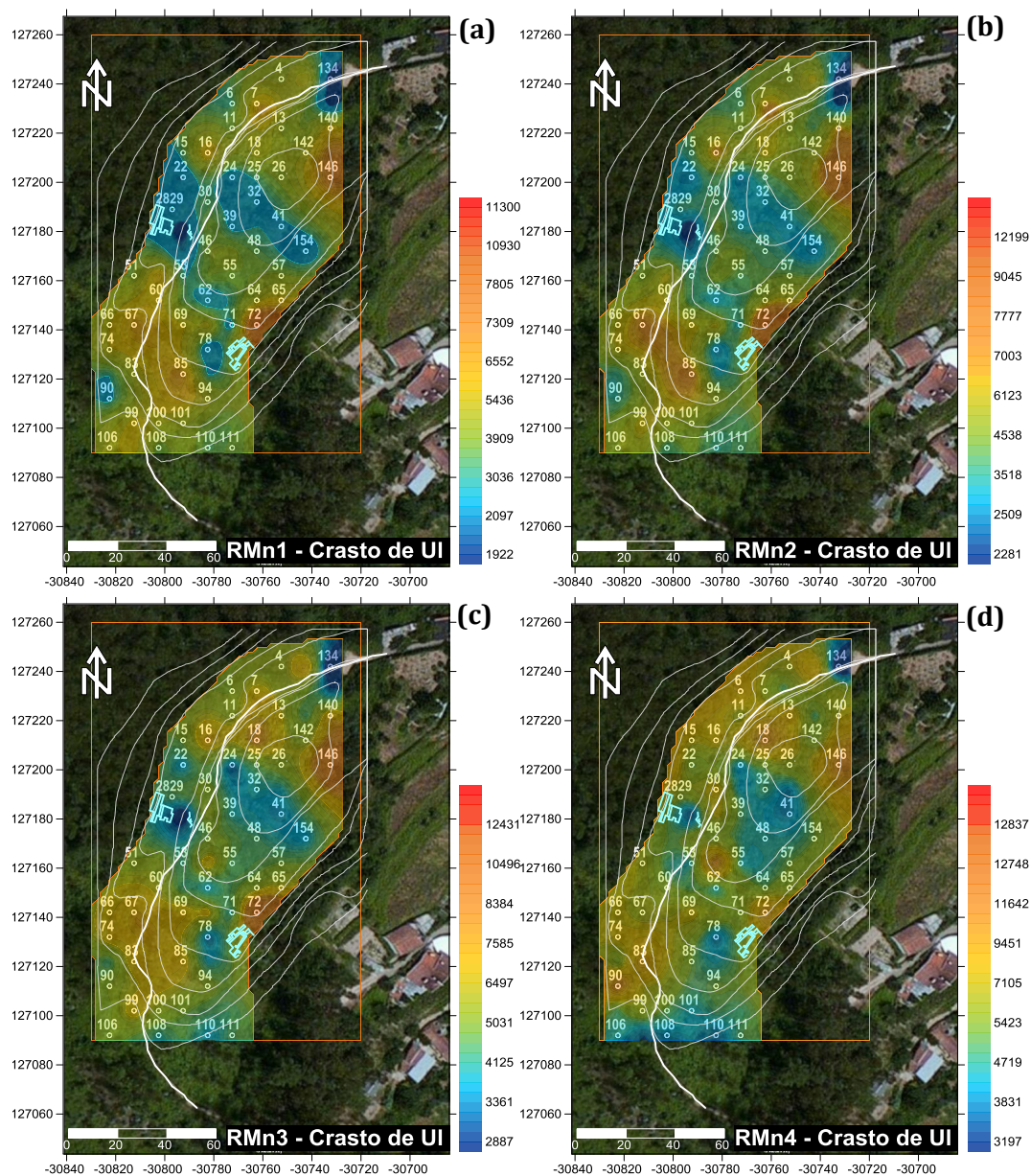


Figura 4.7 – Cartografia dos valores de Resistividade Média (RM) para os quatro níveis de investigação (n1, n2, n3 e n4), utilizando o *software Surfer 8.0*. (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).

Pela análise da Figura 4.8, verifica-se que os valores mais elevados de resistividade média global (RMMédia), se concentram em dois pontos: o ponto 146, com resistividade média global de 9747 ohm.m, e o ponto 72, com resistividade média global de 11604 ohm.m. Estes pontos, correspondem a zonas onde foram observados afloramentos graníticos. O valor de resistividade médio mais baixo, mantém-se no ponto de amostragem 134, sendo de 1189 ohm.m.

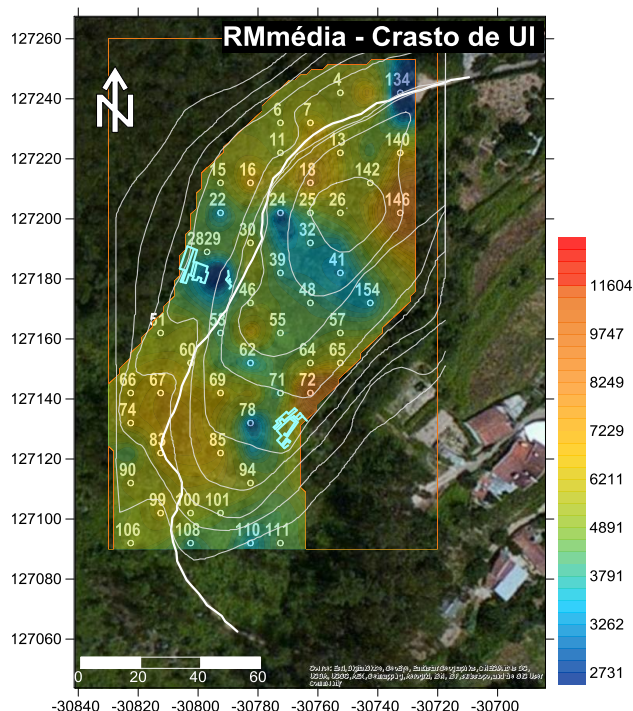


Figura 4.8 – Cartografia dos valores de Resistividade Média Global, utilizando o *software Surfer 8.0* (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).

De uma forma geral, é importante referir que, tal como era de esperar, a resistividade média aumentou com a profundidade do nível de investigação. Uma vez que os pontos onde se registaram os valores de resistividade média mais elevados, são praticamente os mesmos para os quatro níveis de investigação, é possível inferir que poderá estar relacionado com as características geológicas do terreno. É exemplo o ponto de amostragem 72, que se encontra numa região onde foram observados localmente afloramentos graníticos. Relativamente aos locais de aquisição próximos das escavações arqueológicas existentes (representadas no mapa a azul-claro), observa-se que estas se encontram em zonas com resistividades globais médias a baixas, em particular a escavação a Norte.

4.2.1.2 Variação da Resistividade Média em Profundidade

A Figura 4.9 apresenta a cartografia dos valores relativos às diferenças de resistividade média entre os diferentes níveis de investigação.

Esta abordagem tem como objetivo a análise da variação dos valores médios de resistividade, em profundidade. Obtém-se através da diferença entre os valores médios de resistividade, entre os diferentes níveis de investigação.

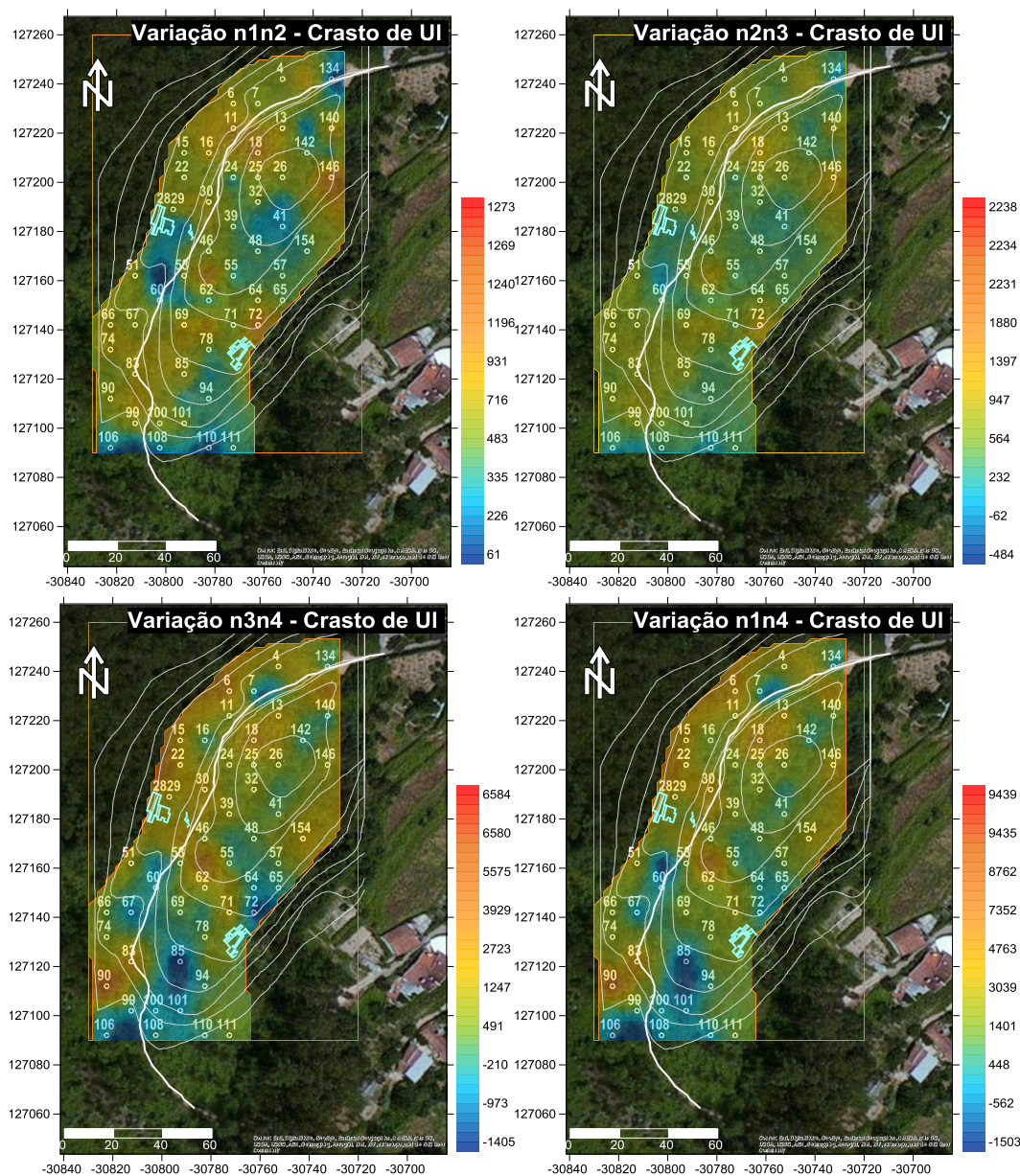


Figura 4.9 – Variação de Resistividade Média entre os diferentes níveis de investigação (n1n2, n2n3, n3n4, n1n4), utilizando o *software Surfer 8.0* (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).

Para esta análise, parte-se do pressuposto que a resistividade aumenta com a profundidade, calculando então a sua variação do nível de investigação 1 para o 2 (n1n2), do nível dois para o nível 3 (n2n3), do nível 3 para o 4 (n3n4) e do nível de investigação 1 para o nível de investigação 4 (n1n4). Ao pressuposto de que a resistividade aumenta com a profundidade, juntam-se também os pressupostos que não existe água em profundidade (que iria afetar negativamente a resistividade, aumentando a condutividade do subsolo), que o grau de compactação do solo irá aumentar em profundidade, que ocorre uma diminuição da meteorização dos constituintes do subsolo e que estamos na presença do mesmo tipo de solo em toda a profundidade de investigação. Estes pressupostos, fazem com que a diferença entre as resistividades tenha um valor positivo, subtraindo-se os valores das resistividades médias da camada n2 à camada n1, da camada n3 à camada n2, da camada n4 à camada n3 e da camada n4 à camada n1. Caso as

diferenças entre as resistividades dos vários níveis de investigação assumam um valor negativo, isto significa que a média dos valores de resistividade para o nível de investigação mais profundo diminui em vez de aumentar, como seria esperado.

Ao passar do nível de investigação 1 para o nível de investigação 2, a diferença entre as resistividades médias apenas é negativa em dois pontos de amostragem: no ponto 52, onde é de -102 ohm.m e no ponto 107, onde é de -7 ohm.m. Isto indica que apenas nestes dois pontos ocorreu a diminuição da resistividade média ao passar do nível de investigação n1 para o nível de investigação n2, sendo esta diminuição da ordem dos 102 ohm.m. Na maior parte dos pontos de aquisição, verifica-se o aumento da resistividade média em profundidade, sendo o valor mais elevado de 1269 ohm.m no ponto 72.

Verifica-se um aumento do número de pontos de aquisição onde a diferença das resistividades médias é negativa, ao passar do nível de investigação 2 para o nível de investigação 3 (n2n3). Dos onze pontos onde a diferença é negativa, esta é mais elevada no ponto 107, sendo de -938 ohm.m. Nos restantes pontos, verifica-se o aumento da diferença das resistividades médias em profundidade, sendo o valor mais elevado de 2331 ohm.m no ponto de aquisição 54.

Na passagem do nível de investigação 3 para o nível 4 (n3n4), há um aumento do número de pontos de aquisição com diferença de resistividades médias negativas, ocorrendo em 27 pontos. É da ordem dos 1906 ohm.m, correspondente ao ponto de amostragem 85. Por outro lado, nos pontos onde ocorre o aumento da diferença das resistividades médias, o valor mais elevado é de 6580 ohm.m, no ponto de aquisição 90. É importante analisar esta variação, entre o nível mais superficial de investigação (n1) e o nível mais profundo (n4).

Da análise da figura, observa-se uma diminuição das resistividades médias com a profundidade em 14 pontos de amostragem, sendo mais acentuada no ponto 107, na ordem dos 2715 ohm.m. Nos restantes pontos, a resistividade aumenta com a profundidade, sendo o valor mais elevado registado de 9435 ohm.m no ponto de amostragem 90.

De um modo geral, é possível dizer que na globalidade dos pontos de aquisição dos dados, ocorreu um aumento da resistividade média com o aumento da profundidade, o que está de acordo com o esperado. Verifica-se ainda que, os pontos de amostragem onde se registou uma diminuição da resistividade com a profundidade, se localizam em zonas onde não se observaram afloramentos graníticos durante os trabalhos de campo.

4.2.1.3 Desvio Padrão da Resistividade

O cálculo do desvio padrão permite identificar se um determinado ponto de aquisição é mais ou menos homogéneo. Assim, valores mais baixos de desvio padrão (DP) estão mais próximos dos valores da média das resistividades médias, traduzindo-se num subsolo mais homogéneo nesse ponto de aquisição. Inversamente, valores mais elevados de desvio padrão estão mais afastados dos valores da média das resistividades médias, sendo o subsolo nesse ponto de aquisição menos homogéneo, ocorrendo assim maiores variações de resistividade média. Foram calculados os desvios padrão para cada um dos níveis de investigação, e também o desvio padrão global, com o objetivo de identificar as zonas da área de estudo mais homogéneas e as mais heterogéneas. A

Figura 4.10 apresenta a cartografia dos valores do desvio padrão para os diferentes níveis de investigação.

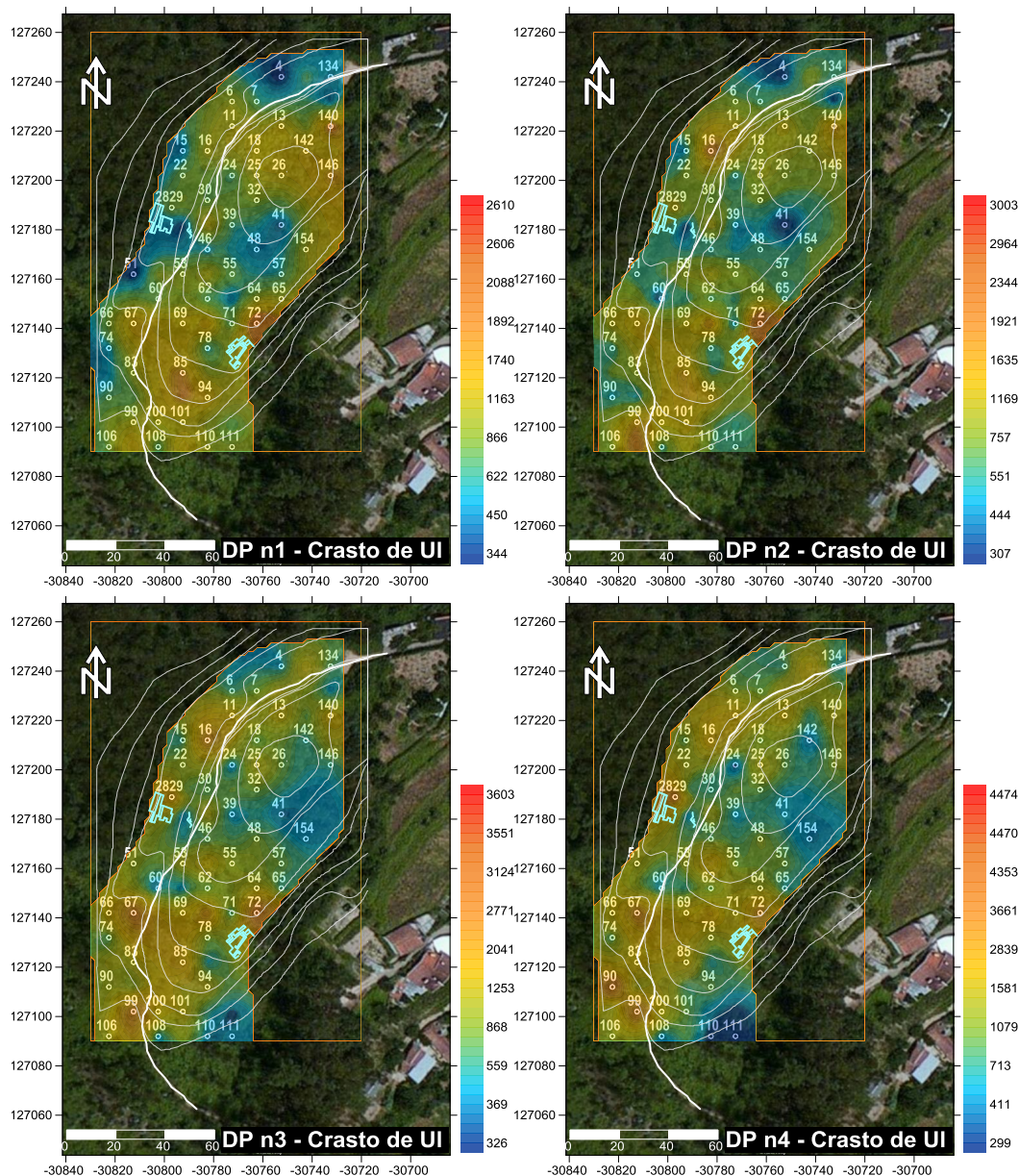


Figura 4.10 – Cartografia dos valores de Desvio Padrão da Resistividade para os diferentes níveis de investigação (n1, n2, n3 e n4), utilizando o *software* Surfer 8.0. (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).

De acordo com a figura, existem duas zonas com valores de desvio padrão mais elevados, para o primeiro nível de investigação (n1): uma a Nordeste, correspondente ao ponto de amostragem 140, com desvio padrão 2088 ohm.m, e outra a Sul, no ponto 72, com desvio padrão 2606 ohm.m. Estas duas zonas irão corresponder a zonas onde o terreno é menos homogéneo, a esta profundidade. Os pontos de amostragem 51, 4 e 37 são os que apresentam valores de desvio padrão mais baixos, respetivamente 246 ohm.m, 284 ohm.m e 293 ohm.m. Pode-se ainda dizer que os valores mais baixos de desvio padrão se concentram, tendencialmente, na zona central da área de estudo. Logo, é nestas regiões que o terreno será mais homogéneo, para esta profundidade de investigação. No mapa que representa o desvio padrão para o nível de

investigação dois (n2), observam-se três regiões com valores elevados, correspondentes aos pontos de amostragem 16, 107 e 71, com valores de desvio padrão 2183, 2344 e 2964 (valores em ohm.m), respetivamente. Para esta profundidade de investigação, estas regiões serão os locais onde o terreno é mais heterogéneo. Por outro lado, os pontos de amostragem 41, 137 e 37 são os que apresentam valores de desvio padrão mais baixos para o segundo nível de investigação, respetivamente 231, 288 e 293 (valores em ohm.m). Constituem assim os pontos onde o terreno é mais homogéneo, a esta profundidade. Para o terceiro nível de investigação (n3) distinguem-se claramente três pontos onde o desvio padrão é mais elevado: o ponto de amostragem 67 com desvio padrão 3063 ohm.m, o ponto 99 com desvio padrão 3124 ohm.m e o ponto 72 com desvio padrão 3551 ohm.m.

Quanto aos pontos de amostragem com valores de desvio padrão mais baixos, destaca-se o ponto 37, com valor de desvio padrão 317 ohm.m, o ponto 24, com desvio padrão 312 ohm.m, e o ponto 103, com desvio padrão 284 ohm.m. É ainda visível que as zonas com valores mais baixos de desvio padrão se encontram dispersas entre zonas com desvio padrão elevados. Observam-se dois pontos de amostragem onde os valores de desvio padrão são claramente mais elevados: o ponto 99, com desvio padrão 4353 ohm.m, e o ponto 90, com desvio padrão 4470 ohm.m. Estes pontos encontram-se próximos, formando uma zona de terreno heterogéneo a Sudoeste da área de estudo. A grande maioria dos pontos apresenta valores baixos de desvio padrão para este nível de investigação que se situam, grosso modo, entre os 160 ohm.m e os 1300 ohm.m. O valor mais baixo é de 161 ohm.m no ponto 110, seguindo-se o ponto 24 com desvio padrão 176 ohm.m.

É assim de realçar um aumento dos valores de desvio padrão em profundidade. Este aumento traduz um aumento da diferença entre os valores da resistividade com a profundidade, logo uma maior diferença do valor do desvio padrão relativamente à média das resistividades. Poderá ainda traduzir a existência de maior heterogeneidade do subsolo em profundidade. Assim, como forma de analisar a variação do desvio padrão em profundidade para os quatro níveis de investigação em conjunto, é importante projetar o comportamento global do desvio padrão sobre a cartografia da área de estudo (Figura 4.11).

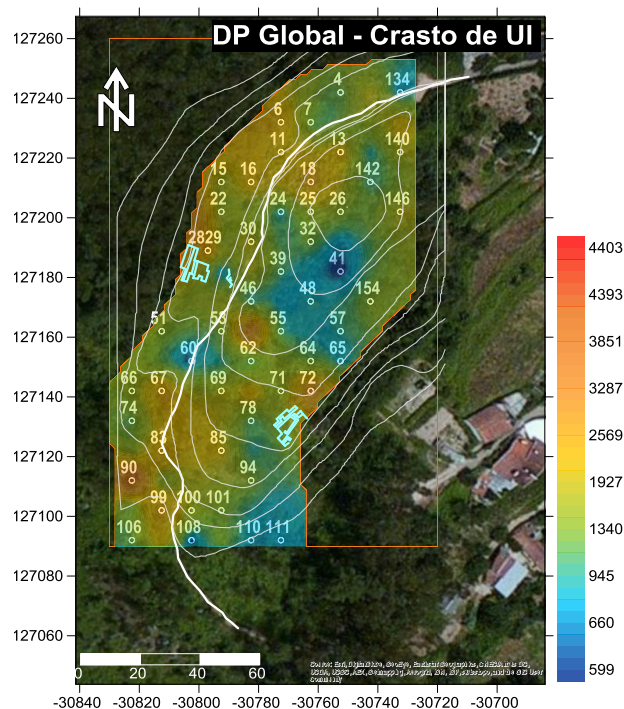


Figura 4.11 – Cartografia dos valores de Desvio Padrão Global (DP Global) para a média das resistividades utilizando o *software Surfer 8.0*. (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).

Em termos globais, ao observar a figura com a projeção do desvio padrão global para a média das resistividades, são visíveis cinco regiões bem definidas com valores elevados de desvio padrão, correspondentes aos pontos de amostragem 18 (3008 ohm.m), 72 (3287 ohm.m), 21 (3416 ohm.m), 54 (3851 ohm.m) e 90 (4393 ohm.m). A maioria dos pontos possui valores globais de desvio padrão mais baixos, grosso modo, entre os 500 ohm.m e os 1600 ohm.m, sendo o ponto de amostragem 41 onde se regista o valor mais baixo (503 ohm.m), seguido do ponto 108 (516 ohm.m) e do ponto 60 (546 ohm.m).

Assim, pode-se concluir que na generalidade da área de estudo, estamos perante um terreno mais homogêneo, logo com valores globais de desvio padrão mais baixos. É ainda de referir que, alguns dos pontos com valores de desvio padrão mais elevados se situam próximos do caminho existente na área de estudo, o que poderá justificar estes valores pelo facto do terreno no caminho ser heterogêneo em profundidade.

4.3 Geoquímica

O objetivo deste capítulo é analisar os resultados obtidos na análise geoquímica das amostras de solo, tendo como intuito fornecer um conjunto de parâmetros de síntese que permita descrever e caracterizar possíveis anomalias existentes na área de estudo. Por outro lado, pretende-se estabelecer um estudo comparativo com os resultados da campanha de geofísica realizada pelo Mestre Luís Daniel Café e cujos resultados foram amplamente discutidos na sua Tese de Dissertação.

4.3.1 Análise univariada

A estatística descritiva constitui uma ferramenta mais rápida para uma exploração inicial dos dados obtidos, através do cálculo de um conjunto de medidas e de representações gráficas que permitem descrever e resumir esse conjunto de dados. Para cada elemento químico, foram calculados a média, o mínimo e o máximo e os valores dos percentis 5, 10, 25, 50, 75, 90, 95, 97.5 e 99. Foi ainda calculado o coeficiente de assimetria.

Estes parâmetros foram calculados para os teores totais das variáveis Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, Hf, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Rb, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Zn e Zr. Os resultados obtidos estão expressos no Quadro 4.4.

Quadro 4.4 – Estatística univariada do conjunto de dados analíticos obtidos na análise geoquímica.

	Min	Mean	Median	Max	Var	S.D.	Assim	Curt
Ag	0,05	0,25	0,10	3,60	0,33	0,58	5,02	26,45
Al	8,960	10,661	10,630	12,560	0,60	0,77	-0,11	-0,05
As	3,00	12,68	12,00	33,00	39,08	6,25	0,95	1,23
Au	0,05	0,05	0,05	0,05	0,00	0,00		
Ba	209,00	327,12	320,00	435,00	2669,94	51,67	0,06	-0,18
Be	3,00	4,40	4,00	7,00	1,02	1,01	0,22	-0,46
Bi	0,40	0,86	0,70	1,90	0,16	0,39	1,11	0,45
Ca	0,010	0,052	0,040	0,170	0,00	0,03	1,62	3,04
Cd	0,05	0,05	0,05	0,10	0,00	0,01	4,84	22,33
Ce	35,00	70,70	71,00	108,00	359,19	18,95	-0,09	-0,65
Co	2,90	7,21	6,95	19,50	6,89	2,62	2,79	11,40
Cr	17,00	28,18	28,00	67,00	46,27	6,80	3,74	21,72
Cu	3,60	23,46	12,95	101,70	596,10	24,42	1,82	2,17
Fe	1,210	2,219	2,290	3,990	0,16	0,41	1,03	7,43
Hf	2,40	4,21	4,20	5,50	0,33	0,57	-0,61	1,55
In	0,03	0,03	0,03	0,09	0,00	0,02	1,61	1,16
K	2,640	3,340	3,375	4,130	0,12	0,34	-0,05	-0,12
La	11,10	26,25	25,80	44,60	75,26	8,68	0,14	-0,67
Li	51,40	105,83	103,10	159,40	587,30	24,23	0,12	-0,07
Mg	0,180	0,334	0,335	0,460	0,00	0,06	-0,49	1,19
Mn	44,00	197,42	193,00	660,00	6994,82	83,64	3,36	18,98
Mo	0,20	0,65	0,70	1,10	0,03	0,17	-0,16	0,68
Na	0,104	0,250	0,205	0,630	0,01	0,12	1,48	1,91
Nb	9,80	14,74	14,80	17,50	2,63	1,62	-1,14	2,00
Ni	7,10	11,02	10,30	29,90	13,14	3,62	3,70	16,87
P	0,025	0,043	0,045	0,106	0,00	0,01	1,69	5,67
Pb	46,60	73,50	64,45	229,80	845,98	29,09	3,59	16,99
Rb	184,20	245,96	252,90	288,30	695,79	26,38	-0,62	-0,32
Sb	0,05	0,44	0,40	0,90	0,04	0,19	0,54	-0,04
Sc	3,00	4,42	4,00	10,00	1,11	1,05	3,02	15,65
Se	0,50	0,65	0,50	2,00	0,11	0,34	2,83	8,71
Sn	8,90	20,26	18,75	71,50	101,86	10,09	3,18	13,53
Sr	32,00	49,78	49,00	74,00	99,77	9,99	0,31	-0,23
Ta	0,90	1,43	1,40	1,90	0,04	0,19	-0,45	1,91
Te	0,25	0,25	0,25	0,25	0,00	0,00		
Th	11,10	20,80	20,60	28,40	12,47	3,53	-0,20	0,78
Ti	0,20	0,31	0,31	0,41	0,00	0,04	-0,49	1,03
Tl	1,20	1,77	1,80	2,20	0,04	0,20	-0,48	0,96
U	4,40	6,77	6,60	11,70	1,41	1,19	1,98	6,55
V	22,00	31,24	30,50	76,00	67,66	8,23	3,31	17,38
W	0,70	1,86	1,85	3,90	0,53	0,73	0,52	0,10
Y	2,70	5,42	5,35	11,00	3,08	1,75	0,73	0,50
Zn	35,00	94,14	95,00	150,00	338,53	18,40	-0,29	3,09
Zr	80,60	142,84	142,70	178,10	392,32	19,81	-0,79	1,57

Relativamente ao coeficiente de assimetria (CA), este permite inferir se a distribuição será simétrica, assimétrica positiva ou assimétrica negativa. Das variáveis analisadas, verifica-se que Ag, Ca, Co, Cr, Cu, In, Mn, Ni, P, Pb, Sc, Se, Sn, U e V apresentam um valor de coeficiente de assimetria superior a 1,5, indicando claramente a presença de distribuições assimétricas positivas (revelando a influência de valores anómalos - *outliers*). De referir que as variáveis Ag, Cu e Pb apresentam valores de média mais elevados que os valores da mediana.

4.3.2 Análise multivariada

4.3.2.1 Análise de Classificação Hierárquica Ascendente

Nas Figuras Figura 4.12 e Figura 4.13 apresentam-se os dendogramas obtidos a partir da aplicação da análise de Classificação Hierárquica Ascendente (CHA), com o objetivo de caracterizar similaridades entre os diferentes parâmetros determinados (Modo R) e nas amostras (Modo Q) de solo, respetivamente. Na elaboração da análise de CHA, utilizou-se como regra de agrupamento o método de *Ward* e tomando como medida de distância o coeficiente de correlação “1-r Pearson”.

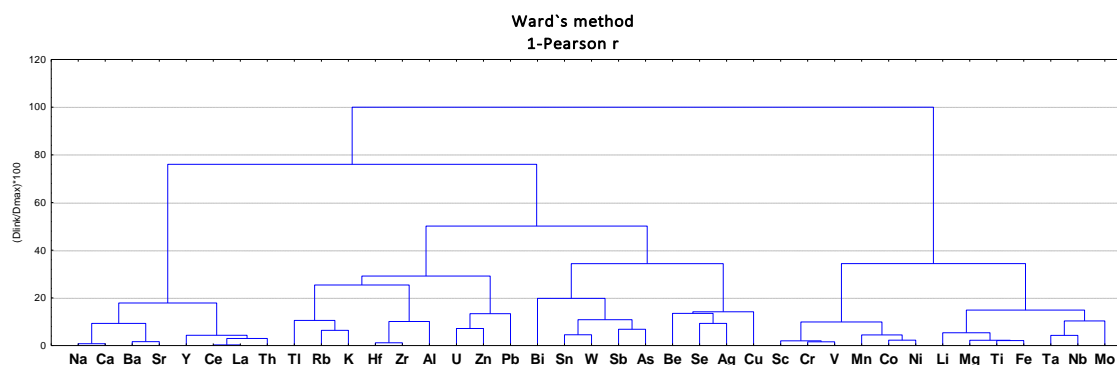


Figura 4.12 – Dendrograma resultante da aplicação da CHA em Modo R.

Através deste procedimento, foi possível observar a existência de 3 grupos principais (*clusters*) (Figura 4.12): Grupo 1, caracterizado pelas variáveis Na, Ca, Ba, Sr, Y, Ce, La, Th; o Grupo 2 caracterizado pelas variáveis [Ti, Rb, K, Hf, Zr, Al, U, Zn, Pb] [Bi, Sn, W, Sb, As, Be, Se, Ag, Cu]; o Grupo 3 representando a associação das variáveis Sc, Cr, V, Mn, Co, Ni, Li, Mg, Ti, Fe, Ta, Nb, Mo. De acordo com os resultados obtidos, os três grupos de associações podem ser atribuídos aos contributos geogénicos (Grupo 1 - granitos e Grupo 3 - xistos) e antropogénicos (associados à existência de mineralizações associadas aos filões e à própria ocupação do local – Grupo 2).

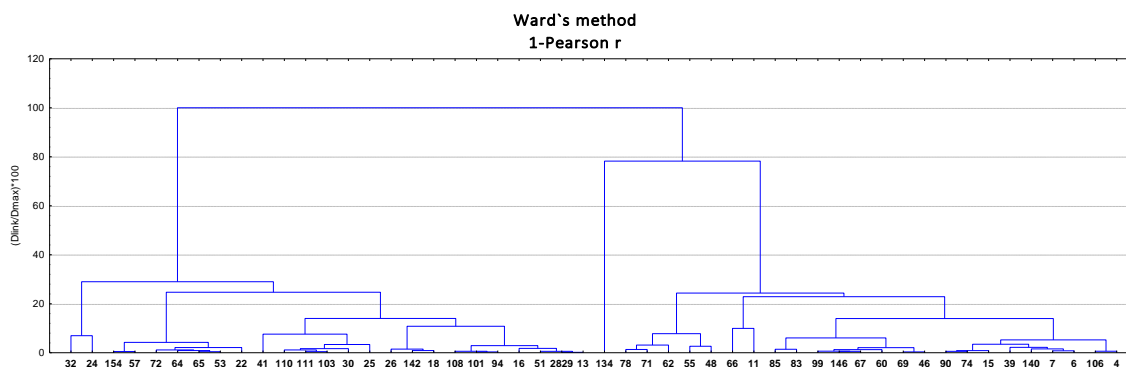


Figura 4.13 – Dendrograma resultante da aplicação da CHA em Modo Q.

Relativamente às amostras (Figura 4.13), é possível identificar claramente dois grupos de amostras: Grupo 1 constituído pelas amostras 32, 124, 154, 57, 72, 64, 65, 53, 22, 41, 110, 111, 103, 30, 25, 26, 142, 18, 108, 101, 94, 16, 51, 2829, 13 e o Grupo 2 constituído pelas amostras 134, 78, 71, 62, 55, 48, 66, 11, 85, 83, 99, 146, 67, 60, 69, 46, 90, 74, 15, 39, 140, 7, 6, 106, 4.

4.3.2.2 Análise em Componentes Principais

Para a análise dos dados obtidos na análise geoquímica das amostras de solo, foi usada a técnica estatística análise de componentes principais (ACP). Esta permite a análise de um conjunto significativo de dados, pela redução do número de variáveis necessárias para descrever o conjunto dos dados. A sua utilização é muito útil quando existem matrizes de dados de grandes dimensões, e que estejam fortemente correlacionadas entre si - neste caso particular a matriz é composta por 46 variáveis (elementos químicos) e 50 indivíduos (amostras).

No caso de estudo, a análise em componentes principais foi efetuada com o objetivo de caracterizar a área de estudo, através da identificação de associação de variáveis que permita distinguir a componente geológica da componente antrópica, relacionada com a ocupação humana do Castro de Ul.

A análise dos dados foi realizada utilizando o *software Statistica 8.0®*, tendo sido utilizados como ponto de partida, os dados obtidos na análise geoquímica: uma matriz de dados com 50 amostras por 37 variáveis ativas (os elementos químicos). As variáveis ativas selecionadas para este estudo foram: Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, Hf, K, La, Li, Mg, Mn, Na, Nb, Ni, Pb, Rb, Sb, Sc, Sn, Sr, Ta, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Zn e Zr. A escolha do número de fatores atendeu a um critério empírico na base dos valores próprios obtidos, levando assim à escolha das cinco primeiras componentes principais (CP) (Figura 4.14).

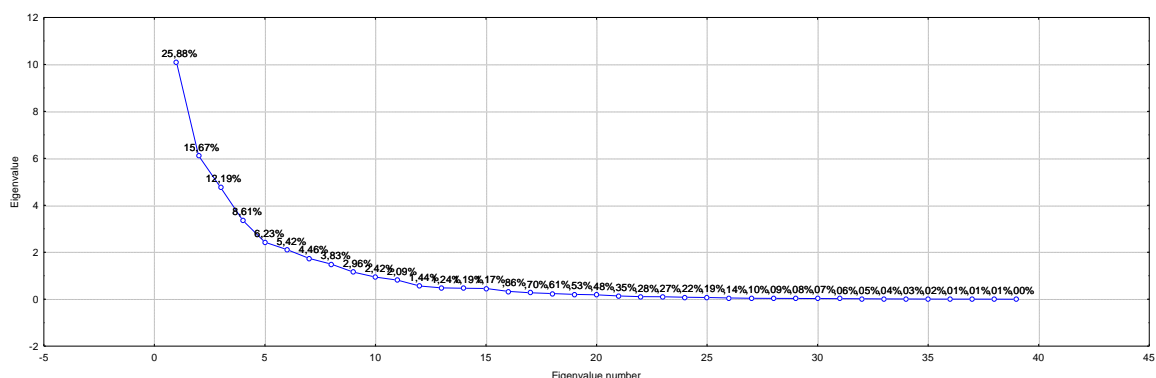


Figura 4.14 – Explicação das quatro primeiras componentes principais da análise ACP.

O Quadro 4.5 apresenta os resultados obtidos na análise de componentes principais (CP), efetuada sobre os resultados da análise geoquímica das 50 amostras de solo. As variáveis com valores superiores a 0,5 estão assinaladas a azul, enquanto as variáveis com valores inferiores a -0,5 estão representadas a vermelho. A partir da análise do quadro, podemos verificar que os cinco primeiros fatores explicam 68,58% dos dados. Analisando fator a fator, verifica-se que o CP1 explica 15 das 37 variáveis ativas, com uma percentagem de variância de 25,88%. O CP2 explica 10 das 37 variáveis, com uma variância de 15,67%. O CP3 explica 4 das 37 variáveis ativas, com uma variância de 12,19%. O CP4 explica 2 das 37 variáveis, com uma percentagem de 8,61%. O CP5 explica 1 das 37 variáveis, com uma variância de 6,23%. Tendo como base os valores próprios

e, considerando para a análise dos resultados apenas os valores superiores a 0,5 (em valor absoluto), é possível distinguir várias associações de elementos para os primeiros cinco Componentes Principais:

CP1 – Fe, Mg, Mn, Ti, Co, Cr, Sc, V, Ni, Li, Y, Ca, Nb, Na e Zn (valores negativos);

CP2 – Sr, Th, Ba, Na, La, Ce, K, Rb, Ca, Y (valores positivos);

CP3 – Hf, Zr, Li (valores negativos) em oposição ao W (valores positivos);

CP4 – Sn, Nb (valores positivos);

CP5 – Pb (valor positivo).

Os elementos Ag, Al, As, Be, Bi, Cu, Mo, Sb, Se, Ta, Tl, U não se encontram explicados em nenhum dos cinco primeiros fatores.

Quadro 4.5 – Coordenadas das 39 variáveis ativas para os cinco primeiros fatores, obtidas a partir da análise em componentes principais efetuada sobre os resultados da análise geoquímica das amostras de solo.

Variável	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Ag	-0,041	0,120	0,150	0,039	0,226
Al	0,340	-0,167	-0,292	0,272	0,465
As	-0,129	0,009	0,479	0,419	-0,054
Ba	-0,468	0,685	-0,046	-0,286	-0,117
Be	-0,029	-0,197	-0,231	0,367	-0,058
Bi	0,201	-0,297	0,396	-0,152	-0,020
Ca	-0,634	0,589	0,090	0,075	-0,227
Ce	-0,387	0,631	0,488	0,332	0,161
Co	-0,774	-0,145	-0,113	-0,393	0,257
Cr	-0,757	-0,307	0,457	-0,044	0,086
Cu	-0,194	-0,205	0,269	-0,134	0,270
Fe	-0,894	-0,254	-0,158	0,111	0,105
Hf	0,322	0,216	-0,678	0,279	0,386
K	0,461	0,620	0,077	-0,280	0,012
La	-0,483	0,636	0,437	0,267	0,129
Li	-0,681	0,080	-0,532	0,086	-0,284
Mg	-0,861	0,034	-0,348	0,183	-0,087
Mn	-0,838	-0,273	-0,059	-0,249	0,002
Mo	-0,311	-0,319	-0,166	0,435	0,224
Na	-0,529	0,684	0,128	0,063	-0,334
Nb	-0,591	-0,303	-0,206	0,534	-0,146
Ni	-0,681	-0,296	0,165	-0,316	0,391
Pb	0,067	0,222	0,098	-0,323	0,641
Rb	0,309	0,606	0,225	0,218	0,137
Sb	0,420	-0,226	0,487	0,363	0,232
Sc	-0,746	-0,370	0,399	0,012	0,185
Se	0,281	-0,070	0,168	-0,099	0,279
Sn	0,279	-0,076	0,306	0,629	0,078
Sr	-0,305	0,842	0,020	-0,236	-0,137
Ta	-0,439	-0,348	-0,397	0,413	-0,282
Th	-0,220	0,754	0,165	0,360	0,306
Ti	-0,829	-0,127	-0,248	0,359	0,021
Tl	0,173	0,370	-0,496	0,244	0,116
U	-0,353	0,318	-0,471	-0,054	0,287
V	-0,698	-0,430	0,370	-0,083	0,172
W	0,181	-0,202	0,657	0,488	0,020
Y	-0,663	0,516	0,293	0,098	0,087
Zn	-0,506	0,032	-0,347	-0,243	0,484
Zr	0,336	0,282	-0,627	0,326	0,393
<i>Eigenvalue</i>	10,09	6,11	4,75	3,36	2,43
<i>% Variância</i>	25,88	15,67	12,19	8,61	6,23
<i>% Var. Cumulada</i>	25,88	41,55	53,74	62,35	68,58

A Figura 4.15 apresenta a representação das variáveis nos 3 primeiros planos fatoriais. Este tipo de representação permite distinguir mais facilmente as proximidades e oposições existentes, entre as diferentes variáveis, nos diferentes planos fatoriais.

Tendo em consideração que os pontos de amostragem foram devidamente georreferenciados, foi possível projetar a importância de cada uma das associações de elementos identificada anteriormente, em forma de mapa (Figura 4.16 e Figura 4.17).

Estes mapas foram elaborados tendo como base a tabela presente no Anexo IV, onde estão as coordenadas para cada uma das amostras analisadas, bem como os componentes principais.

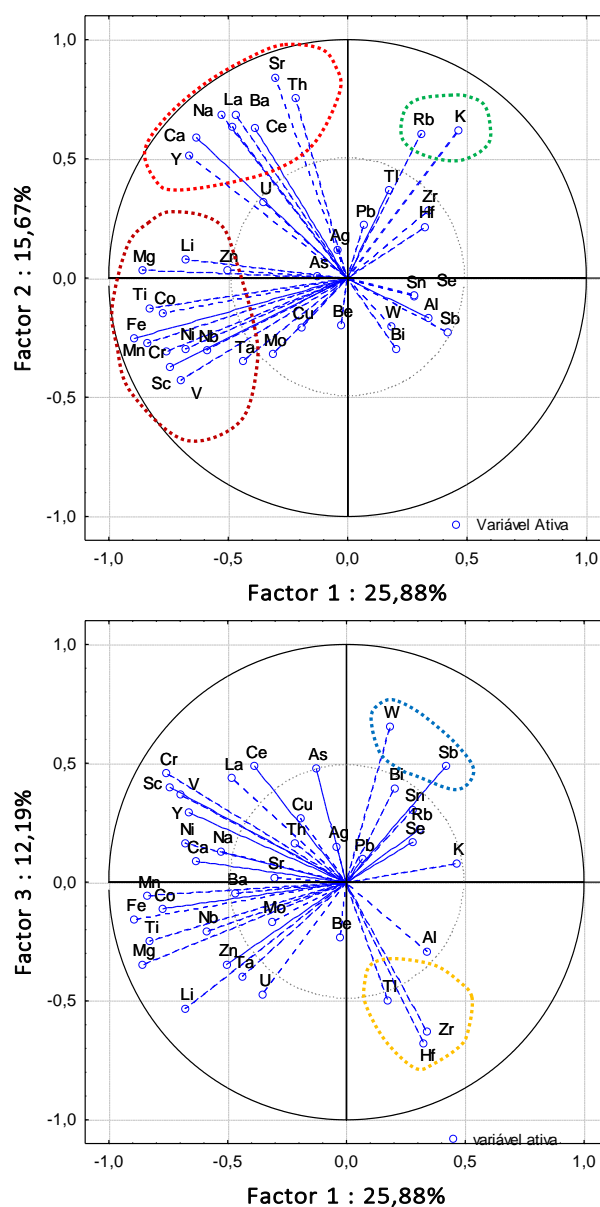


Figura 4.15 – Representação das variáveis no primeiro plano fatorial (CP1 vs. CP2) e no segundo plano fatorial (CP1 vs. CP3).

Analisando globalmente as várias associações de elementos para os dois primeiros fatores, verifica-se que poderão refletir o contexto geológico local. No CP1, a associação presente permite identificar uma assinatura geoquímica típica de solos que ocorrem sob a influência de xistos (Figura 4.16(a)), enquanto que no caso do CP2 este identifica uma assinatura geoquímica típica de granitos. Durante o trabalho de campo, foi possível identificar claramente a presença de afloramento graníticos, comprovando a sua existência particularmente na zona correspondente à antiga pedreira de granito, e ainda numa área a cotas mais elevadas que se situava no canto superior direito da área de estudo.

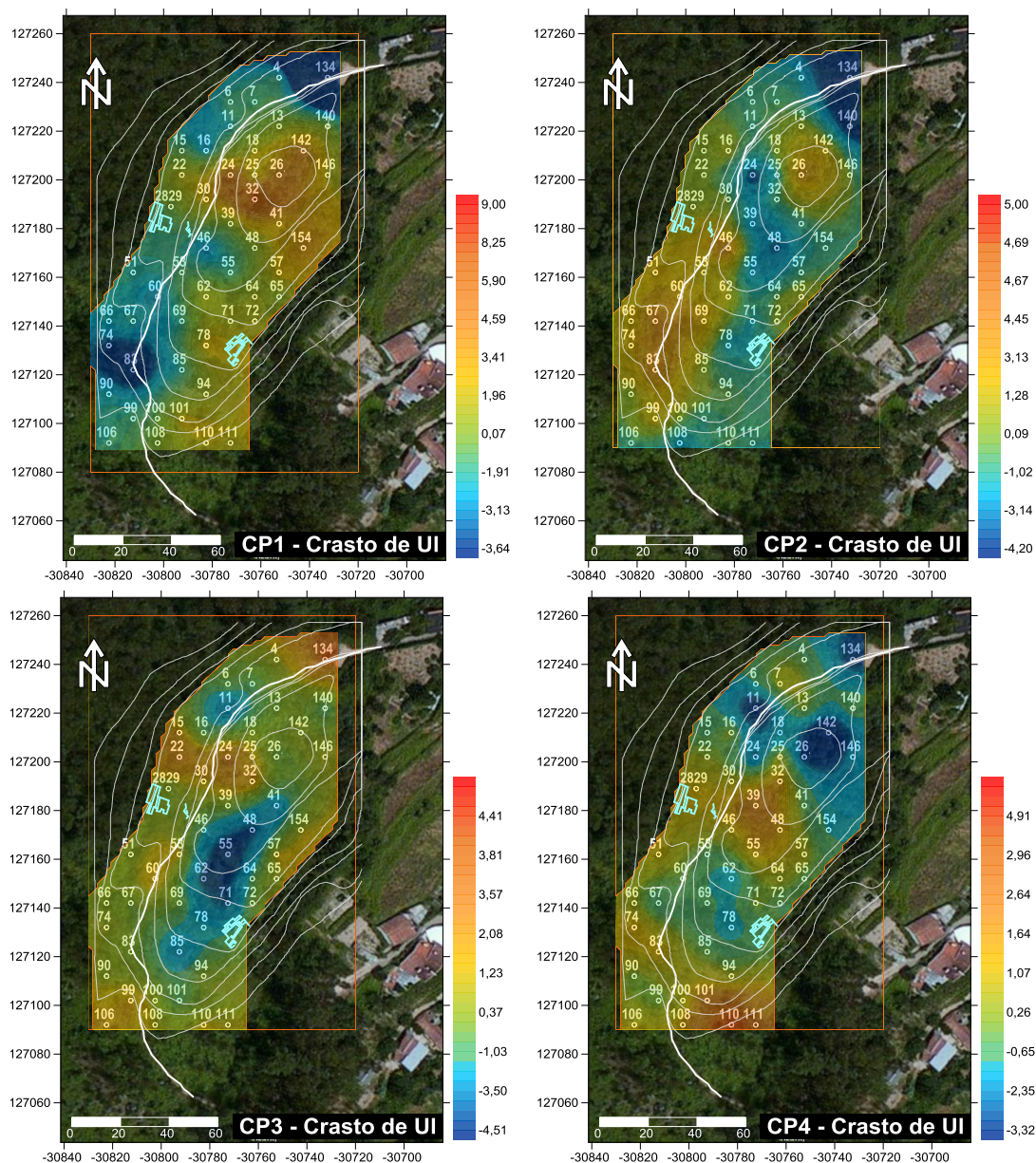


Figura 4.16 – Cartografia das coordenadas das amostras para (a) a CP1 (Fe, Mg, Mn, Ti, Co, Cr, Sc, V, Ni, Li, Y, Ca, Nb, Na e Zn - valores negativos), (b) para a CP2 (Sr, Th, Ba, Na, La, Ce, K, Rb, Ca, Y - valores positivos), (c) a CP3 (Hf, Zr, Li - valores negativos em oposição ao W - valores positivos, e (d) a CP4 (Sn e Nb - valores positivos), utilizando o *software Surfer 8.0*. (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).

Relativamente à presença de xistos, não conseguimos verificar a sua presença na área de estudo. No entanto, ao longo das margens do rio UI observámos alguns afloramentos, o que poderá indicar que também esteja presente na zona de estudo.

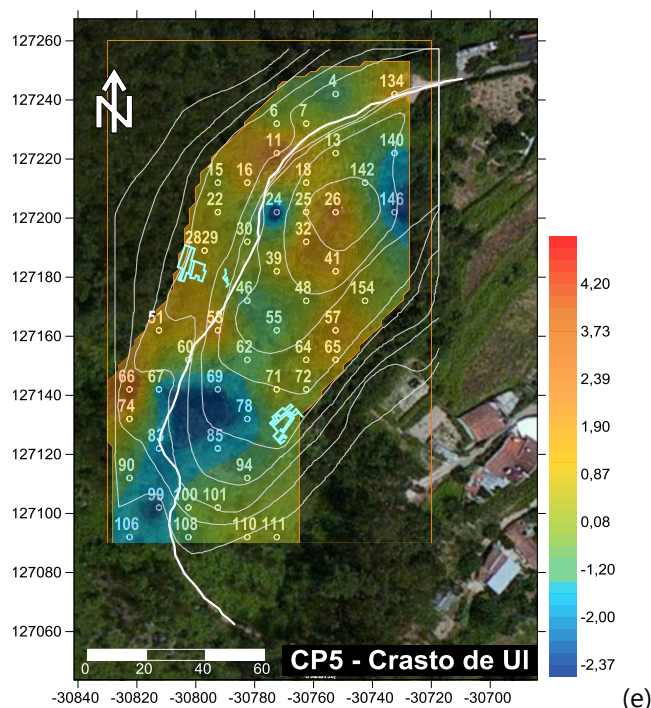


Figura 4.17 – Cartografia das coordenadas das amostras para a CP5 (**Pb** - valores positivos), utilizando o *software Surfer 8.0*. (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).

Quanto às associações de elementos existentes no CP3, CP4 e CP5, é possível dizer-se que estas podem estar associadas ao tipo de mineralizações existentes, associados à presença de filões de quartzo. Podem também ser de origem antrópica, sendo um indicador da presença humana na área de estudo. Relativamente à cartografia da CP3 (Figura 4.16(c)) verifica-se que existe uma maior concentração de valores negativos (associados aos elementos Hf, Zr e Li) na região das amostras 41, 48, 55, 62, 71, 78 e 85, com um alinhamento aproximado Nordeste – Sudoeste. Quanto ao CP4 (Figura 4.16(d)), verifica-se uma predominância de valores positivos na região das amostras 32, 39, 46, 48 e 55, assim como nas amostras 110 e 111. Para o CP5 (Figura 4.17), os valores positivos estão orientados segundo um alinhamento aproximadamente Norte – Sul, correspondente às amostras 26, 41 e 57 e que estão associadas a zonas com maior enriquecimento em Pb, Zn e Zr.

Para concluir a análise geoquímica, é possível dizer que os resultados obtidos permitem distinguir duas associações com carácter marcadamente geogénico: uma representando a assinatura geoquímica tipicamente associada a granitos, e outra que reflete uma assinatura geoquímica associada a xistos.

Considerando as associações de elementos químicos identificadas para os cinco primeiros fatores, revelou-se útil efetuar a projeção espacial dos diferentes elementos químicos, em particular dos que se encontram com valores absolutos mais elevados. Estes elementos são metais, pelo que a sua distribuição espacial num dado ambiente geológico representa o final de uma série de

processos naturais, durante os quais podem ter-se verificado fenómenos de enriquecimento ou empobrecimento nestes elementos. É ainda de realçar que alguns destes elementos podem ter sido introduzidos no meio como resultado de atividades antrópicas que decorreram na área de estudo, em quantidades variáveis.

As Figuras Figura 4.18, Figura 4.19, Figura 4.20, Figura 4.21 e Figura 4.22 apresentam a cartografia espacial das concentrações de Fe, Mg, Sr, Th, Zr, Sn, Nb e Pb (duas das variáveis com maior valor próprio de cada uma das componentes principais).

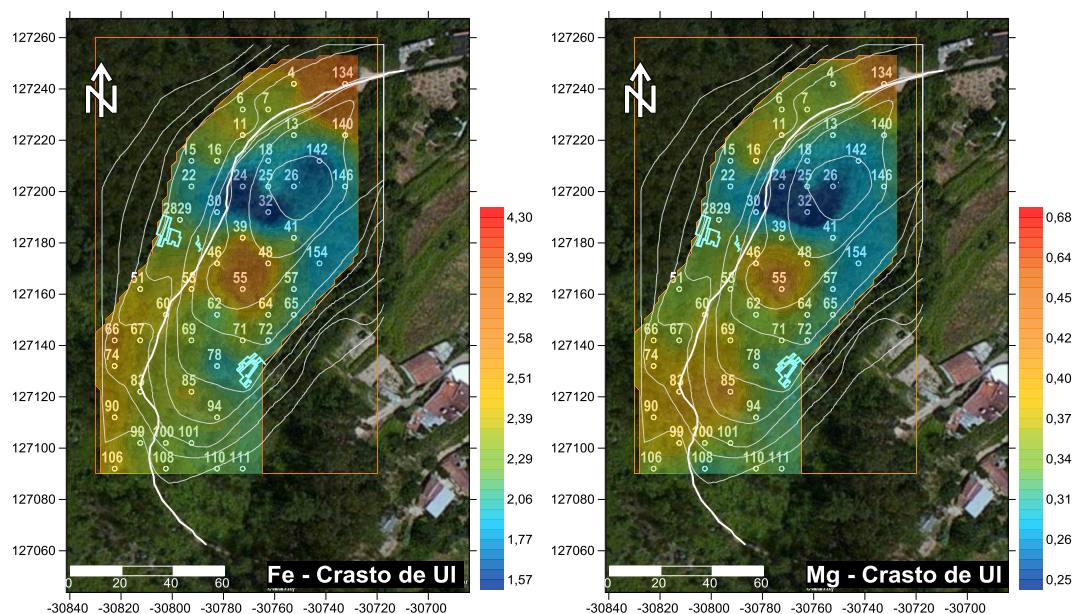


Figura 4.18 – Cartografia espacial das concentrações de Fe e Mg (%), utilizando o *software Surfer 8.0* (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).

Da análise da Figura 4.18, distinguem-se claramente duas zonas onde ocorre um maior enriquecimento em Fe e de Mg: (a) no canto superior direito, e que corresponde aos pontos de amostragem 4 (2,34%; 0,33%), 134 (3,99%; 0,46%) e 140 (2,36%; 0,32%); outra região com teores de Fe e Mg também elevados, localizada sensivelmente no centro na área de estudo, e que é definida pelos pontos 39 (2,54%; 0,35%), 46 (2,44%; 0,40%), 48 (2,56%; 0,38%), 53 (2,41%; 0,35%) e 55 (2,82%; 0,45%). Relativamente às amostras de solo com concentrações mais baixas de Fe, observa-se uma área definida na parte Este da área de estudo, sendo nos pontos 24 (1,22%; 0,18%), 26 (1,73%; 0,25%), 30 (1,76%; 0,26%), 32 (1,21%; 0,18%) e 142 (1,57%; 0,26%) que se registam as concentrações mais baixas deste elemento. Estes dois elementos químicos são explicados pelo Fator 1, integrando uma assinatura geoquímica típica de solos que se desenvolvem em contexto geológico de xistos.

A Figura 4.19 apresenta a cartografia espacial das concentrações de Sr e Th na zona estudada. Da análise da figura, pode-se observar claramente a presença de duas zonas onde há enriquecimento nestes dois elementos: (a) uma zona localizada no canto inferior esquerdo definida pelo ponto 83 (74 mg kg⁻¹; 25 mg kg⁻¹) e restante zona envolvente, que define a zona da exploração de granitos, e outra correspondente ao ponto 26 (67 mg kg⁻¹; 23,9 mg kg⁻¹) e 142 (61 mg kg⁻¹; 18 mg kg⁻¹). Como já foi referido anteriormente, os elementos Sr e Th são explicados pela componente principal 2, representando a assinatura geoquímica típica de solos desenvolvidos em granitos.

A Figura 4.20 apresenta a cartografia espacial das concentrações de Zr na zona estudada. Pela visualização da figura, pode-se distinguir uma zona com maior enriquecimento em Zr localizada no centro da área de estudo (com direção Nordeste – Sudoeste), correspondente aos pontos de amostragem 41 (177 mg kg^{-1}), 48 (178 mg kg^{-1}) e 71 (176 mg kg^{-1}). Do mesmo modo, é visível uma zona onde as concentrações de Zr nas amostras de solo analisadas são tendencialmente mais baixas, localizada a Norte da área de estudo, constituída pelos pontos de amostragem 134 ($80,6 \text{ mg kg}^{-1}$) e 140 ($106,9 \text{ mg kg}^{-1}$). A variável Zr é explicada pela componente principal 3.

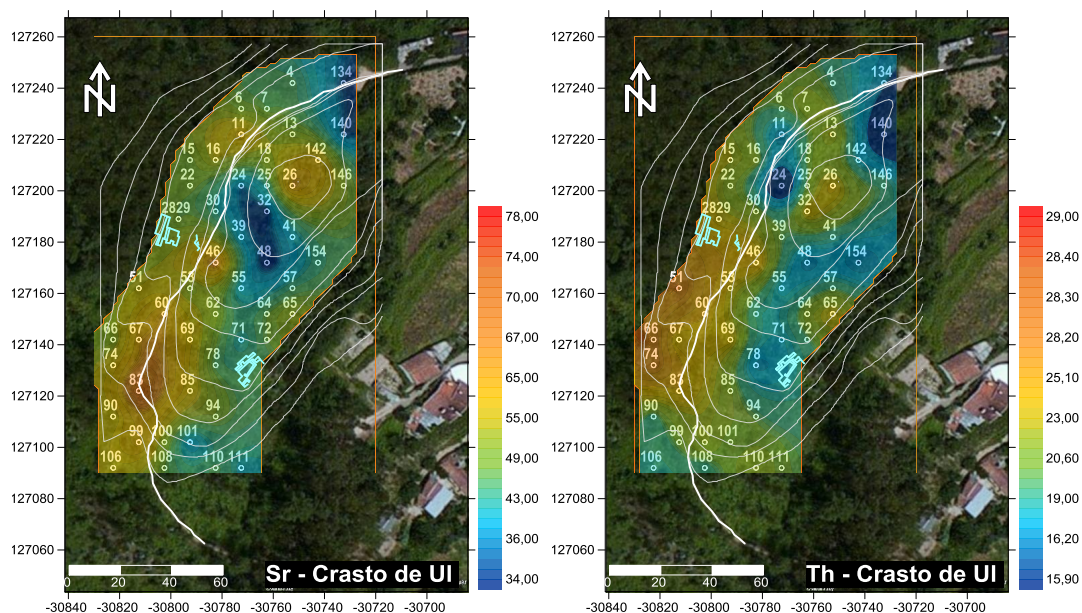


Figura 4.19 – Cartografia espacial das concentrações de Sr e Th (mg kg^{-1}), utilizando o software Surfer 8.0 (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).

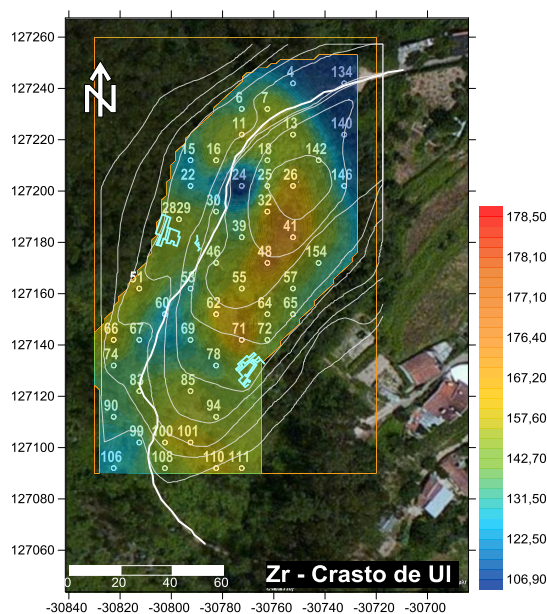


Figura 4.20 – Cartografia espacial das concentrações de Zr (mg kg^{-1}), utilizando o software Surfer 8.0 (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).

A Figura 4.21 apresenta a cartografia espacial das concentrações de Sn e Nb nos solos da zona em estudo. A análise da figura permite constatar que ocorre um enriquecimento em Sn numa zona localizada a Sul da área de estudo, coincidente com os pontos de amostragem 110 ($71,5 \text{ mg kg}^{-1}$) e 111 ($44,8 \text{ mg kg}^{-1}$). Destaca-se ainda uma outra zona, definida pelos pontos 22 ($35,7 \text{ mg kg}^{-1}$), 30 ($26,4 \text{ mg kg}^{-1}$), 32 ($27,2 \text{ mg kg}^{-1}$), que apresenta também valores relativamente mais baixos que a zona anterior. Relativamente aos valores mais baixos, destaca-se a presença de três zonas com baixas concentrações de Sn: (a) uma correspondente à amostra 142 (10 mg kg^{-1}), (b) outra à amostra 85 ($11,3 \text{ mg kg}^{-1}$) e (c) outra relativa à amostra 134 ($12,2 \text{ mg kg}^{-1}$), todas elas com cariz marcadamente pontual.

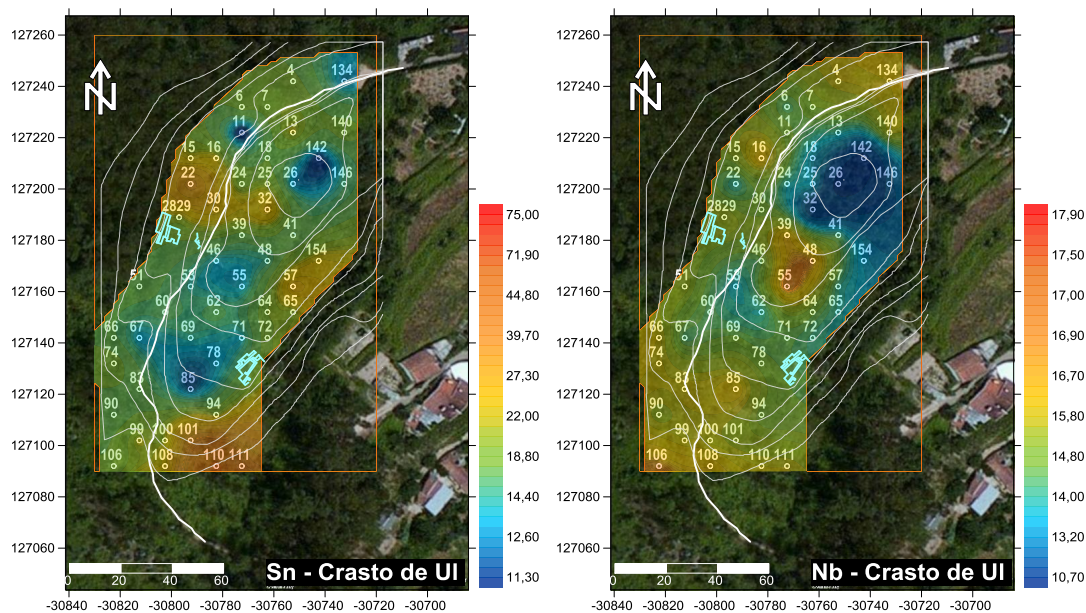


Figura 4.21 – Cartografia espacial das concentrações de Sn e Nb (mg kg^{-1}) utilizando o *software Surfer 8.0* (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).

Relativamente ao Nb, é possível destacar uma zona bem definida com baixas concentrações, associada às amostras 26 ($10,1 \text{ mg kg}^{-1}$), 32 ($10,7 \text{ mg kg}^{-1}$) e 142 ($9,8 \text{ mg kg}^{-1}$). A restante área apresenta concentrações que variam entre $12,3 \text{ mg kg}^{-1}$ e $17,5 \text{ mg kg}^{-1}$. Estes elementos são explicados pela componente principal 4.

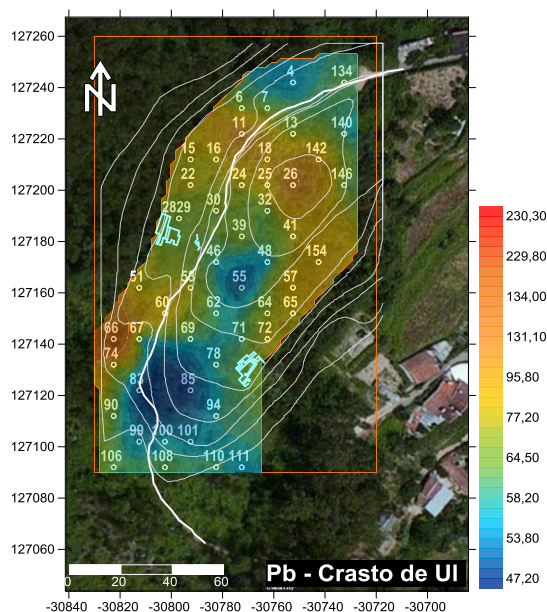


Figura 4.22 – Cartografia espacial das concentrações de Pb (mg kg^{-1}), utilizando o software *Surfer 8.0* (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).

Quanto às concentrações de Pb presentes nas amostras de solo (Figura 4.22), observam-se claramente três zonas na área de estudo onde os valores são mais elevados: uma zona a Sudoeste, correspondente ao ponto de amostragem 66 ($229,8 \text{ mg kg}^{-1}$), onde se registam as concentrações mais elevadas de Pb; e duas zonas a Nordeste, próximas, correspondentes aos pontos de amostragem 11 ($131,1 \text{ mg kg}^{-1}$) e 26 ($134,9 \text{ mg kg}^{-1}$).

Os pontos de amostragem onde foram registadas as concentrações mais baixas de Pb formam uma área extensa na parte Sul da área de estudo, englobando os pontos 46 ($58,0 \text{ mg kg}^{-1}$), 48 ($55,0 \text{ mg kg}^{-1}$), 55 ($47,1 \text{ mg kg}^{-1}$), 62 ($58,8 \text{ mg kg}^{-1}$), 69 ($58,8 \text{ mg kg}^{-1}$), 83 ($47,2 \text{ mg kg}^{-1}$), 85 ($46,6 \text{ mg kg}^{-1}$), 94 ($58,2 \text{ mg kg}^{-1}$), 99 ($52,9 \text{ mg kg}^{-1}$), 101 ($56,1 \text{ mg kg}^{-1}$), 103 ($53,1 \text{ mg kg}^{-1}$), 110 ($59,5 \text{ mg kg}^{-1}$) e 111 ($54,6 \text{ mg kg}^{-1}$).

Capítulo 5 - Integração de dados geofísicos e geoquímicos e conclusões

Este último capítulo tem como objetivo a integração dos dados obtidos na análise geofísica e na análise geoquímica, por forma a encontrar qualquer tipo de correlação entre os dados. Tem ainda como objetivo a delimitação de possíveis zonas para uma futura escavação arqueológica, tendo como base os resultados obtidos.

Em primeiro lugar, foi feita a análise de componentes principais aos dados geofísicos e geoquímicos. As variáveis geofísicas usadas foram as resistividades Média n1, a Média n2, a Média n3, a Média n4, a Média global (MGlobal) e a Média global 2 (MGlobal2). Esta é uma nova variável, que está relacionada com o facto de, na amostragem geoquímica, apenas serem recolhidas amostras até à profundidade máxima de 60 cm (os dois níveis de investigação mais profundos (n3 e n4) dos dados geofísicos não foram considerados, tendo sido recalculada a média global de resistividade, considerando apenas os níveis n1 e n2). Através da análise do Quadro 5.1 e da Figura 5.1, verifica-se que:

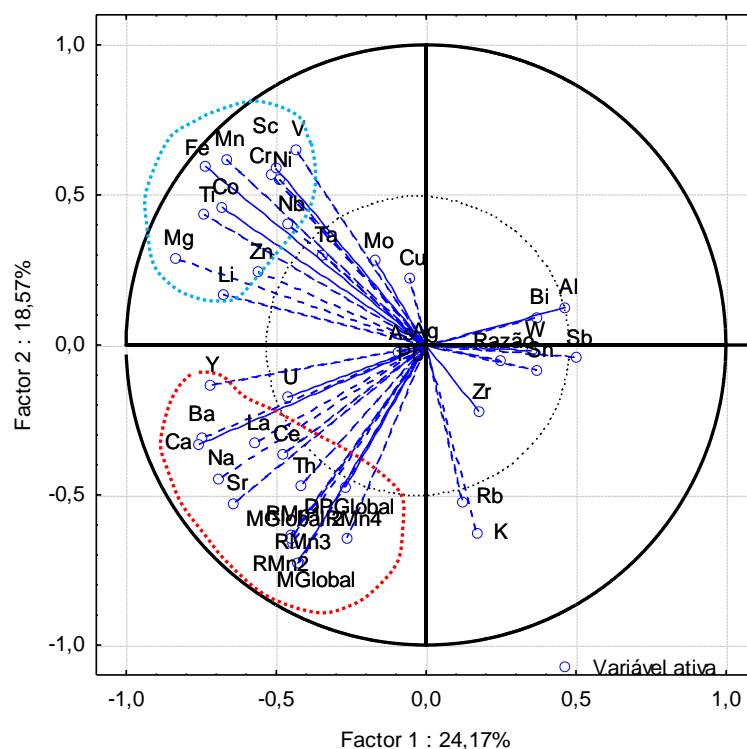


Figura 5.1 – Projeção das variáveis geofísicas e geoquímicas no primeiro plano fatorial (CP1 e CP2)

CP1 – Mg, Ba, Ca, Ti, Fe, Y, Na, Co, Li, Mn, Sr, La, Zn, Cr, Sc (negativos)

CP2 – V, Mn, Fe, Sc, Cr, Ni (positivos) em oposição às variáveis Rb, Sr, RMn1, RMn4, MGlobal2, RMn2, RMn3 e MGlobal (negativos)

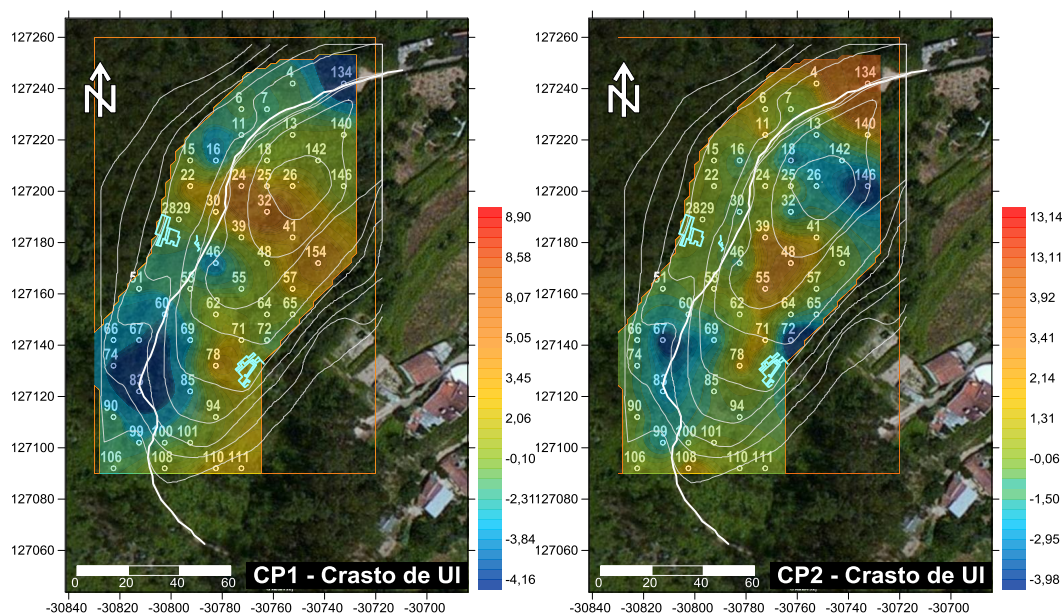
CP3 – Ce, La, W (positivos) em oposição ao Ta (negativos)

A associação de elementos químicos que se observa no CP1 é típica de xistos, estando assinalada na figura com um tracejado azul-claro, enquanto que a associação observada no eixo 2 (valores negativos) é típica de granitos, estando assinalada com um tracejado vermelho. Estas assinaturas geoquímicas já tinham sido identificadas anteriormente, aquando da análise de componentes principais às variáveis geoquímicas.

Quadro 5.1 – Coordenadas das 43 variáveis ativas para os três primeiros fatores, obtidas a partir da análise em componentes principais efetuada sobre os resultados da análise geofísica e da análise geoquímica das amostras de solo.

	CP1	CP2	CP3
Ag	-0,015	-0,019	0,254
Al	0,465	0,126	-0,169
As	-0,092	-0,026	0,442
Ba	-0,759	-0,331	0,064
Bi	0,368	0,093	0,234
Ca	-0,750	-0,309	0,250
Ce	-0,476	-0,363	0,696
Co	-0,680	0,459	-0,076
Cr	-0,515	0,570	0,467
Cu	-0,055	0,223	0,261
DPGlobal	-0,272	-0,473	-0,070
Fe	-0,736	0,596	-0,054
K	0,174	-0,630	0,184
La	-0,571	-0,326	0,651
Li	-0,677	0,168	-0,398
Mg	-0,836	0,290	-0,198
MGlobal	-0,427	-0,728	-0,254
MGlobal 2	-0,450	-0,646	-0,306
Mn	-0,665	0,618	-0,019
Mo	-0,169	0,281	-0,207
Na	-0,695	-0,445	0,258
Nb	-0,461	0,403	-0,208
Ni	-0,489	0,551	0,189
Pb	-0,064	-0,098	0,132
Razão	0,247	-0,053	0,190
Rb	0,119	-0,524	0,441
RMn1	-0,452	-0,631	-0,303
RMn2	-0,447	-0,658	-0,309
RMn3	-0,423	-0,724	-0,268
RMn4	-0,263	-0,642	-0,082
Sb	0,500	-0,042	0,398
Sc	-0,502	0,588	0,398
Sn	0,370	-0,084	0,396
Sr	-0,642	-0,528	0,165
Ta	-0,344	0,300	-0,508
Th	-0,416	-0,470	0,454
Ti	-0,740	0,435	-0,097
U	-0,463	-0,174	-0,326
V	-0,436	0,652	0,354
W	0,354	-0,017	0,625
Y	-0,722	-0,135	0,489
Zn	-0,560	0,244	-0,244
Zr	0,174	-0,223	-0,366
Eigenvalue value	10,394	7,987	4,740
% Variancia	24,172	18,575	11,023
% Variância Cumulada	24,172	42,747	53,770

Elaborando mapas com a projeção destes dados sobre a cartografia da área de estudo, um para cada um dos eixos, é possível observar a distribuição da assinatura geoquímica típica de granitos (sombreada a azul) e da assinatura típica de xistos (a laranja). Estas assinaturas geoquímicas deverão estar relacionadas com as litologias existentes. A análise de componentes principais, efetuada em conjunto para as variáveis geofísicas e geoquímicas, parece também indicar que os valores mais elevados para as médias de resistividade ocorrem nas zonas onde está presente a assinatura geoquímica típica de granito.



Quadro 5.2 – Cartografia das coordenadas das amostras para (a) a CP1 (Mg, Ba, Ca, Ti, Fe, Y, Na, Co, Li, Mn, Sr, La, Zn, Cr, Sc (valores negativos)), (b) para a CP 2 (Rb, Sr, RMn1, RMn4, MGlobal2, RMn2, RMn3 e MGlobal (valores negativos)), utilizando o *software Surfer 8.0* (Projeção no Sistema PT-TM06-ETRS89).

Por fim e sendo o grande objetivo deste trabalho, foram definidas zonas onde poderão ser efetuadas futuras escavações arqueológicas, e que estão representadas no mapa seguinte (Figura 5.2). Uma vez que a ocupação humana na área de estudo deverá ter sido condicionada pela litologia do substrato (principalmente pelo modo como estes poderiam ser usados como materiais de construção, e a sua facilidade de extração), será importante que futuras escavações arqueológicas a serem efetuadas sejam realizadas em ambas as litologias, sendo definidas quatro áreas possíveis de escavação.

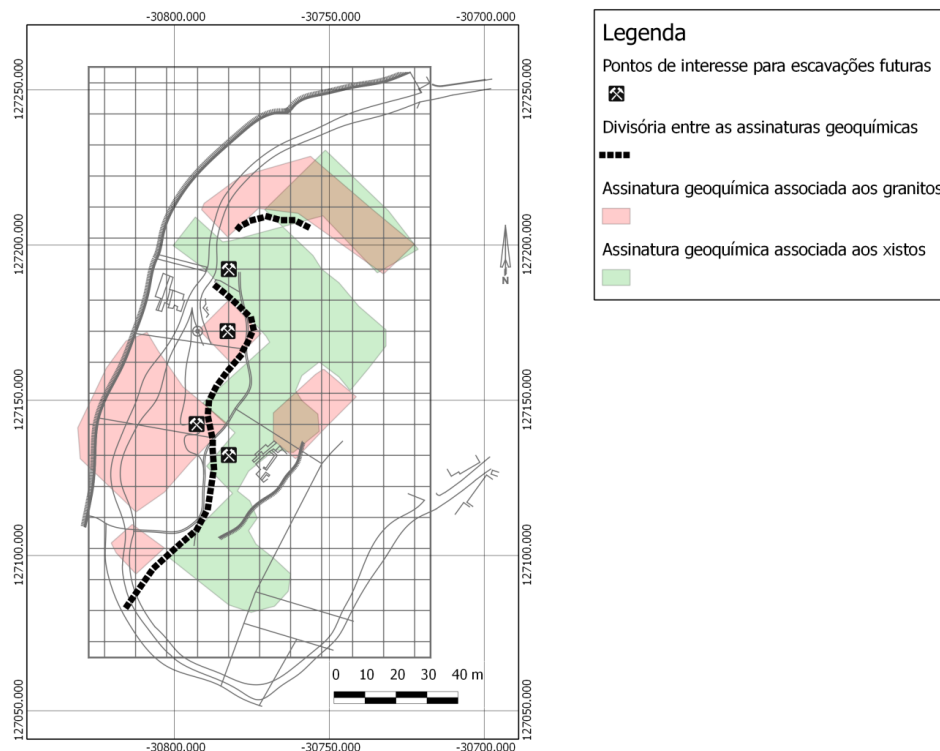


Figura 5.2 – Carta da área de estudo com as diferentes assinaturas geoquímicas assinaladas (granitos a rosa e xistos a verde), a divisória entre estas assinaturas e ainda os pontos de interesse para futuras escavações arqueológicas (*QuantumGis*, 1:1300) (Sistema PT-TM06-ETRS89) (Almeida & Silva, 2013).

É ainda de referir que estas futuras escavações deverão ser realizadas próximas das zonas de contato entre as duas litologias, uma vez que estas constituem zonas de fragilidade e onde a extração de rocha seria facilitada, logo onde a probabilidade de se encontrarem vestígios arqueológicos será mais elevada.

Capítulo 6 - Referências Bibliográficas

- ARAÚJO, M.A.; GOMES, A.; CHAMINÉ, H.I.; FONSECA, P.E.; GAMA PEREIRA, L.C.; PINTO DE JESUS, A. (2003) – *Geomorfologia e geologia regional do sector de Porto – Espinho (W de Portugal): Implicações morfoestruturais na cobertura sedimentar cenozóica*. Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe, Coruña; Vol.28, pp. 79 – 105.
- CHAMINÉ, H.I.; GAMA PEREIRA, L.C.; FONSECA, P.E.; NORONHA, F.; LEMOOS DE SOUSA M.J. (2003) – *Tectonoestratigrafia da faixa de cisalhamento de Porto – Albergaria-a-Velha – Coimbra – Tomar, entre as Zonas Centro-Ibérica e de Ossa-Morena (Maciço Ibérico, W de Portugal)*. Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe, Coruña; Vol. 28, pp. 37 – 78.
- COELHO, L.R.M.C. (2011) – *Análise Integrada de Dados Geoquímicos e Geofísicos na Vidreira do Covo*. Tese de Mestrado: Geociências, Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, 184 pp.
- GANDOLFO, O.C.B. (2007) – *Um estudo do imageamento geolétrico na investigação rasa*. Tese de Doutoramento: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 234 pp.
- GANDOLFO, O.C.B.; GALLAS, J.D.F. (2005) – *Eletroresistividade 3D – uma avaliação preliminar da técnica*. Revista Brasileira de Geofísica, Vol. 23, nº 2, São Paulo.
- GOLDBERG, P. et al. (2001) – *Earth Sciences and Archaeology*. NewYork: Kluwer Academic, 513 pp.
- FERREIRA, M.M.S.I. (2004) – *Dados geoquímicos de base de solos de Portugal Continental, utilizando amostragem de baixa densidade*. Tese de Doutoramento: Geociências, Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, 286 pp.
- LEUTE, U. (1987) – *Archaeometry: an introduction to physical methods in archaeology and the history of art*. Weinheim: VCH, 176 pp.
- ORELLANA, E. (1982) – *Prospéccion Geolétrica en corriente continua. Segunda Edición Corregida y Ampliada*. Paraninfo. Madrid: Biblioteca Tecnica Philips, 578 pp.
- PEREIRA, E.; RODRIGUES, J.; GONÇALVES, L. S. M.; MOREIRA, A.; SILVA, A. F. (2007) – *Carta Geológica de Portugal e Notícia Explicativa da Folha 13-D (Oliveira de Azeméis) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000*. Lisboa: Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, Departamento de Geologia
- PEREIRA, G.; SOUSA, A.J. (1991) – *Análise de dados para o tratamento de quadros multidimensionais de apoio ao curso intensivo de análise de dados*.
- TELFORD, W.M.; GELDART, L.P.; SHERIFF, R.E. (1990) – *Applied Geophysics, 2ed*. Cambridge: Cambridge University Press, 770 pp.

Sítios da Internet

- W1 - https://www.academia.edu/5304499/Castro_de_Ul_Um_s%C3%ADtio_arqueol%C3%B3gico_a_conhecer_-_Boletim_Informativo_da_Casa-Museu_Regional_de_Oliveira_de_Azem%C3%A9is_Arquivo_Presente_de_Mem%C3%B3rias_do_Passado_No_41_Ano_IV_2012
- W2 - http://www.cm-oaz.pt/oliveira_de_azemeis.1/freguesias.42/ul.62.html
- W3 - http://www.cm-oaz.pt/oliveira_de_azemeis.1/freguesias.42/ul.62/castro_de_ul.a3182.html
- http://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20140516/JnDFUpYlXUwZHVfsXmi/cli_2013_0601_20130630_pcl_mm_co_pt.pdf
- W4 - http://www.patrimoniocultural.pt/static/data/publicacoes/o_arqueologo_portugues/serie_2/volume_3/marcos_miliarios.pdf
- W5 - http://www.patrimoniocultural.pt/static/data/publicacoes/o_arqueologo_portugues/serie_2/volume_2/terminus_augustalis.pdf
- W6 - <http://arqueologia.patrimoniocultural.pt/index.php?sid=sitios.resultados&subsid=53666>
- W7 - http://w3.ualg.pt/~jdiad/JAD/ebooks/Sedim/SedimB_AG.pdf
- W8 - http://sniamb.apambiente.pt/infos/geoportaldocs/AtAmbiente/I_13.zip
- <http://www.freguesiadeul.com/patrimonio.1.html>
- <http://www.cm-oaz.pt/download.php?f=141209122947.pdf&key=0a66d3039fb2d36027d028bf1e335ae0>
- http://portalgeografico.cm-oaz.pt/FICHEIROS_E_CARTAS/pdm/PDM_RELAT%C3%93RIO.pdf

<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779571804714/Resistividade.pdf>

<http://www.academia.edu/7105266/126380767-Applied-Geophysics-by-W-M-Telford-L-P-Geldart-R-E-Sheriff>

<http://paginas.fe.up.pt/~earpe/conteudos/REF/Seb%20Mec%20Solos%201%20-%20Prof.%20Matos%20Fernandes%20FEUP%20-%202000%20-%20cap1.pdf>

Anexos

I. Resultados obtidos na análise granulométrica das amostras de solo

Refª Amostra	Peso Retido nos Crivos (g)									Total
	4mm	2mm	1mm	0,5mm	0,25m	0,125	0,09m	0,063	"Pan"	
4	0,8	6,1	14,7	19,8	17,1	15,6	8,1	9,1	8,5	99,8
6	0,6	4,1	17,9	24,7	18,4	14,7	7,2	5,4	6,8	99,8
7	1,4	6,7	18,6	22,6	17	13,6	6,7	6,5	6,4	99,5
8	1	5	16,4	23,2	18,2	15,5	7,7	6,4	6,6	100
11	0,2	2,6	13,1	22,7	19,9	17	7,5	11,1	5,7	99,8
13	0,9	4,1	13,7	21,4	18	17,5	8,9	4,6	10	99,1
15	2,7	14,5	25,6	22,1	13,9	9,9	6,2	2	2,8	99,7
16	0,4	2,1	15,2	22,9	18,2	16,9	8,8	5,6	10,2	100,3
18	0,9	9,1	24,3	22,6	15,9	11,8	4,4	4,9	5,7	99,6
21	5	18,3	24,4	21,9	13,9	9,1	4,7	0,2	2,2	99,7
22	1,5	9,2	21,9	23,6	16,9	12,8	5,1	4	4,8	99,8
24	0,9	5,7	20,1	22	16	13,7	6,9	6,8	8	100,1
25	0,5	3	15,7	21,7	16,2	14,5	8,8	6	12,4	98,8
26	0,7	6,1	23,7	24	16,9	12,6	4,7	3,5	7,9	100,1
2829	0,6	5,2	18,7	23,3	17,4	14,3	7,1	6,4	6,8	99,8
29	1,5	7	19,4	22,4	16,4	13,8	6,4	7,1	6,2	100,2
30	0,8	3,2	15,3	22,2	17,5	16,9	8,7	3,7	11,3	99,6
31	1,3	4,1	17,4	22,3	17,1	16	7,7	6,7	5,8	98,4
32	1,2	8,2	29,5	23,3	14,4	10,6	4	2,9	5,7	99,8
33	1,6	8,3	22,6	21,6	14,8	12,8	6,4	5,8	6	99,9
38	1,1	7,9	20,5	22,9	16,1	13,3	6,4	5,8	6	100
39	2,5	12,9	20,5	20,7	14,9	11,4	5,6	6,2	5,2	99,9
40	1,4	7,6	22,4	22,6	15,7	12,8	5,9	6	5,4	99,8
41	1	5,2	18,4	22,1	16,9	16,7	6,4	7,5	5,6	99,8
45	0,5	5	19,5	23,2	17,2	14	7,5	4,5	8,6	100
46	1	8,4	20,1	22,7	16,1	13,1	6,1	5	7,3	99,8
47	0,7	4,1	18	23,4	16,2	14,3	7,2	6,4	9,7	100
48	0,7	5,3	19,4	24,5	17,1	13,8	6,6	5,3	7,5	100,2
51	0,9	5,5	18,2	22,9	18,1	14,5	5,9	7,7	5,8	99,5
52	2,2	10,7	23,4	22,7	14,7	11,4	7	2,5	5,3	99,9
53	1	5,5	15,7	20,9	16,2	14,6	7,9	7,8	10,1	99,7
54	0,2	1,6	18,2	25,6	19,1	15,9	6	4,8	8,2	99,6
55	2,1	5,9	15,1	22,1	18,4	15,1	7,6	8	5,6	99,9
57	2,5	10,2	22,6	21,7	14,6	12,2	4,7	3,8	7,3	99,6
59	1,2	7,4	19,9	22,4	17,1	14,1	6,3	5,5	6,2	100,1
60	0,3	4,4	17,7	22,3	17,2	14	7,3	7,7	7,8	98,7
61	0,2	1,5	12	20,7	17,6	19,7	9,9	5,5	12,6	99,7
62	0,2	0,6	12,8	24,2	21	18,5	8,2	3,6	10,3	99,4
63	0,3	3,4	15,7	22,1	17,1	15,2	7,9	8,3	9,9	99,9
64	0,9	5,4	18,2	21,8	16,3	13,8	6,4	7	10	99,8
65	0,2	3,9	19,2	24,5	17,1	14,4	8,9	4,4	6,8	99,4
66	0,7	4,4	15,1	20,7	18,1	15,7	8,6	8,6	8,1	100
67	1,2	4,6	17,5	22,2	17,7	15,2	7,2	9,4	4,8	99,8
69	0	1,1	11,8	20,6	16,9	18	10,4	5,3	14,8	98,9
70	0,7	11,2	27,8	20	13,2	10,9	5,1	4,2	7	100,1
71	0,3	1,8	15,8	22,4	17,3	16,1	9,1	9,8	7,6	100,2
72	0,3	4,7	19,5	22,8	16,9	14,4	6,8	9,3	5,1	99,8
74	1,4	8,4	18,7	21,8	17,3	13,5	6,4	5,3	6,8	99,6
78	0,3	1,3	12,3	22,1	18,4	18,5	9,5	4,2	12,8	99,4
82	1,2	6,8	19,7	21,5	16,6	13,5	6,7	6,6	7,3	99,9

Refª amostra	Peso Retido nos Crivos (g)									Total
	4mm	2mm	1mm	0,5mm	0,25m	0,125	0,09m	0,063	"Pan"	
83	1,2	8,7	19,9	20,2	15,8	13,9	6,2	5,9	8	99,8
85	0,2	1,9	16,4	23,1	19,1	17	7,3	7,1	7,6	99,7
86	1,7	7,1	20,3	22,4	17,1	14,5	5,5	5	6,4	100
90	1,2	7,5	19,1	20,4	15,7	13,1	7,8	9,6	6,2	100,6
91	2,7	8,9	20,7	19,7	14,7	12,9	5,6	6,3	8,5	100
93	0,9	6	18,3	21,3	16,9	14,6	7,9	7,5	6,6	100
94	1	5,4	18,7	22,2	16,4	13,6	6,6	6,6	9,1	99,6
98	1,8	6,4	17,3	20,6	17,6	14,9	6,7	6,2	8,3	99,8
99	1,6	8,8	22,6	22,2	16,3	12,4	4,7	4,5	6,6	99,7
101	1	7,4	19,3	20,9	16,9	13,8	6	7,7	7,1	100,1
102	0,7	5,8	28,8	25,5	17	12,9	5,8	1,2	2,6	100,3
103	1,2	6,6	20,9	24,2	17,2	14,4	6,4	4	5,5	100,4
106	2,4	11,7	21	21,2	16,6	12,4	4,6	4,3	5,9	100,1
107	0,2	3	12,3	19,9	19,1	18,4	8,1	6,3	12,4	99,7
108	1	7,9	19,2	22,1	17,7	17	7,6	2,1	5,2	99,8
109	0,9	6,6	18,6	20,1	15,4	22,8	4,4	0,5	10,4	99,7
110	0,5	5	19,6	23,6	17	16,4	6,8	2,2	8,7	99,8
111	1,4	9,7	22,2	22,6	15,6	12,3	5,7	5	5,5	100
133	1,4	6,7	14,8	18,2	16,5	16,6	8	9,9	8	100,1
134	2	14,2	19,7	18,9	15,3	13,8	6	4,6	5,8	100,3
137	3,2	14,7	19,7	18,6	14,2	11,4	6,7	6	5	99,5
139	0,4	6,6	20,5	21,3	15,6	13,1	6	7	9,1	99,6
140	0,7	4,8	16	19,9	15,9	14,6	8,5	10,4	9	99,8
142	1,3	7,2	19,9	23,2	18,7	13,9	4,7	4,4	6,2	99,5
143	0,3	3,6	18,9	22,1	16,1	14,4	8	8,3	8,3	100
146	1	6	17,7	21,4	16,9	14,3	7	6,6	9,6	100,5
154	2,1	13,5	24,5	22,1	14,3	11,1	5,8	2,8	4,3	100,5

II. Resultados Obtidos na Prospeção Geofísica

Refª Amostra	M	P	Resistividade Média n1 (ohm.m)	Resistividade Média n2 (ohm.m)	Resistividade Média n3 (ohm.m)	Resistividade Média n4 (ohm.m)	Resistividade Média Global (ohm.m)	Variação de Resistividade n1n2 (ohm.m)	Variação de Resistividade n2n3 (ohm.m)	Variação de Resistividade n3n4 (ohm.m)	Variação de Resistividade n1n4 (ohm.m)
4	-30752,5	127242	4198	4700	5537	6784	5305	502	837	1247	2586
6	-30772,5	127232	3061	3823	5477	9283	5411	762	1655	3805	6222
7	-30762,5	127232	7309	7841	7585	6181	7229	531	-255	-1405	-1129
8	-30752,5	127232	5320	5806	5692	4719	5384	486	-114	-973	-601
11	-30772,5	127222	3746	4699	5718	6354	5129	953	1019	636	2608
13	-30752,5	127222	4374	5171	6558	9044	6287	797	1387	2486	4669
15	-30792,5	127212	3297	3878	5031	7277	4871	581	1153	2245	3980
16	-30782,5	127212	6620	7496	8063	7878	7514	876	567	-185	1258
18	-30762,5	127212	5485	6681	8912	12837	8479	1196	2231	3925	7352
21	-30802,5	127202	2164	2880	4760	10336	5035	716	1880	5575	8171
22	-30792,5	127202	1976	2464	3361	5040	3210	488	897	1679	3064
24	-30772,5	127202	1960	2281	2854	3831	2731	321	573	977	1871
25	-30762,5	127202	3211	3866	4764	5536	4344	655	898	772	2325
2829	-30796,6	127189	3146	3671	4551	5695	4266	525	880	1144	2549
29	-30792,5	127192	2849	3639	4866	6529	4471	790	1226	1664	3680
30	-30782,5	127192	3424	4164	5561	8187	5334	740	1397	2626	4763
31	-30772,5	127192	2607	3072	3602	4008	3322	465	530	406	1401
32	-30762,5	127192	2691	3198	3970	5100	3740	507	771	1130	2408
33	-30752,5	127192	3347	3589	3714	3681	3583	242	125	-34	333
37	-30792,5	127182	1400	1567	1950	2792	1927	167	383	842	1392
38	-30782,5	127182	4071	4843	6038	7732	5671	772	1196	1694	3661
39	-30772,5	127182	2722	3149	3880	5044	3699	427	731	1165	2322
40	-30762,5	127182	3050	3292	3682	4173	3549	241	391	491	1123
41	-30752,5	127182	2853	3079	3385	3722	3260	226	306	337	869
45	-30792,5	127172	1952	2428	3535	6258	3543	476	1107	2723	4306
46	-30782,5	127172	3925	4384	4902	5325	4634	459	517	423	1400

Refª Amostra	M	P	Resistividade Média n1 (ohm.m)	Resistividade Média n2 (ohm.m)	Resistividade Média n3 (ohm.m)	Resistividade Média n4 (ohm.m)	Resistividade Média Global (ohm.m)	Variação de Resistividade n1n2 (ohm.m)	Variação de Resistividade n2n3 (ohm.m)	Variação de Resistividade n3n4 (ohm.m)
47	-30772,5	127172	4163	4614	4865	4655	4574	450	251	-210
48	-30762,5	127172	3506	3936	4411	4775	4157	430	475	364
51	-30812,5	127162	3909	4617	5621	6948	5274	708	1003	1327
52	-30802,5	127162	6552	6450	5897	4754	5913	-102	-553	-1143
53	-30792,5	127162	2998	3561	4125	4479	3791	563	564	353
54	-30782,5	127162	3987	5203	7534	12748	7368	1216	2331	5215
55	-30772,5	127162	3847	4155	4362	4340	4176	308	207	-22
57	-30752,5	127162	4112	4538	5012	5376	4759	426	474	364
59	-30812,5	127152	5589	6176	6719	6943	6357	588	543	224
60	-30802,5	127152	5907	6260	6353	5853	6094	353	93	-500
61	-30792,5	127152	3386	3645	4139	4966	4034	260	494	827
62	-30782,5	127152	2311	2614	3190	4153	3067	302	577	963
63	-30772,5	127152	3155	3674	4624	6201	4413	519	950	1576
64	-30762,5	127152	4916	5533	5752	5209	5353	617	219	-543
65	-30752,5	127152	5851	6274	6497	6223	6211	423	223	-274
66	-30822,5	127142	5407	6123	6856	7282	6417	716	733	426
67	-30812,5	127142	6772	7402	7574	6448	7049	629	173	-1126
69	-30792,5	127142	5585	6417	7261	7712	6744	832	844	452
70	-30782,5	127142	5436	6465	7073	6702	6419	1028	608	-371
71	-30772,5	127142	2538	2959	3834	5580	3727	421	875	1746
72	-30762,5	127142	10930	12199	12431	10858	11604	1269	232	-1573
74	-30822,5	127132	5454	6273	7172	7824	6681	819	898	652
78	-30782,5	127132	1922	2333	2887	3402	2636	411	555	515
82	-30822,5	127122	3036	3518	4261	5266	4020	483	742	1005
83	-30812,5	127122	4853	5598	7165	10356	6993	745	1567	3191
85	-30792,5	127122	7060	7765	7236	5330	6848	705	-530	-1906

Refª Amostra	M	P	Resistividade Média n1 (ohm.m)	Resistividade Média n2 (ohm.m)	Resistividade Média n3 (ohm.m)	Resistividade Média n4 (ohm.m)	Resistividade Média Global (ohm.m)	Variação de Resistividade n1n2	Variação de Resistividade n2n3	Variação de Resistividade n3n4	Variação de Resistividade n1n4
86	-30782,5	127122	2890	3175	3677	4389	3533	285	502	712	1499
90	-30822,5	127112	2752	3465	5608	12187	6003	713	2142	6580	9435
91	-30812,5	127112	4432	5305	6279	7105	5780	874	973	826	2674
93	-30792,5	127112	6378	6656	6173	4875	6020	278	-484	-1298	-1503
94	-30782,5	127112	4804	5201	5493	5469	5242	397	292	-24	665
98	-30822,5	127102	4483	4933	5217	4931	4891	449	285	-286	448
99	-30812,5	127102	5882	6600	7180	6601	6566	719	579	-579	720
101	-30792,5	127102	4569	5100	5061	4238	4742	531	-40	-823	-332
102	-30782,5	127102	3723	4058	4464	5070	4329	335	407	605	1347
103	-30772,5	127102	3603	3945	4295	4740	4146	342	350	445	1137
106	-30822,5	127092	5237	5449	5387	4464	5134	212	-62	-922	-772
107	-30812,5	127092	5830	5823	4885	3115	4913	-7	-938	-1770	-2715
108	-30802,5	127092	3452	3736	3918	3841	3737	284	182	-76	389
109	-30792,5	127092	4610	4868	4767	4047	4573	259	-101	-720	-562
110	-30782,5	127092	3315	3376	3343	3197	3308	61	-32	-146	-118
111	-30772,5	127092	3755	4142	4584	5119	4400	387	442	535	1363
133	-30742,5	127242	5657	6667	8037	9451	7453	1010	1370	1415	3794
134	-30732,5	127242	1330	1388	1354	1189	1316	58	-34	-165	-140
137	-30732,5	127232	1442	1805	2937	6866	3262	363	1133	3929	5425
139	-30742,5	127222	3889	4054	4318	4735	4249	165	264	417	846
140	-30732,5	127222	6072	7003	7606	7224	6976	931	603	-382	1152
142	-30742,5	127212	5068	5501	5700	5423	5423	433	199	-277	355
143	-30732,5	127212	7447	7777	8384	9388	8249	331	607	1004	1941
146	-30732,5	127202	7805	9045	10496	11642	9747	1240	1451	1146	3838
154	-30742,5	127172	2097	2509	3457	5363	3356	412	947	1906	3266

Refª Amostra	M	P	Desvio Padrão da Resistividade n1 (ohm.m)	Desvio Padrão da Resistividade n2 (ohm.m)	Desvio Padrão da Resistividade n3 (ohm.m)	Desvio Padrão da Resistividade n4 (ohm.m)	Desvio Padrão Global da Resistividade (ohm.m)
55	-30772,5	127162	763	919	1029	1023	962
57	-30752,5	127162	622	686	810	1055	940
59	-30812,5	127152	852	947	1109	1181	1156
60	-30802,5	127152	689	326	340	554	546
61	-30792,5	127152	897	551	369	693	891
62	-30782,5	127152	624	627	718	875	1004
63	-30772,5	127152	414	605	958	1539	1516
64	-30762,5	127152	1012	991	1282	1421	1232
65	-30752,5	127152	1064	554	546	589	758
66	-30822,5	127142	860	1169	1602	1935	1617
67	-30812,5	127142	1740	1553	3063	3661	2696
69	-30792,5	127142	1417	1233	1576	2144	1821
70	-30782,5	127142	1742	1921	2515	2839	2376
71	-30772,5	127142	673	354	493	1484	1455
72	-30762,5	127142	2606	2964	3551	3602	3287
74	-30822,5	127132	507	538	674	808	1104
78	-30782,5	127132	529	525	831	1223	999
82	-30822,5	127122	505	785	1213	1806	1452
83	-30812,5	127122	1002	996	1238	2103	2540
85	-30792,5	127122	1892	1691	2041	1932	2102
86	-30782,5	127122	948	618	446	601	885
90	-30822,5	127112	708	482	1040	4470	4393
91	-30812,5	127112	700	444	868	1192	1314
93	-30792,5	127112	1952	1635	1183	727	1603
94	-30782,5	127112	1525	1418	1241	1018	1343
98	-30822,5	127102	907	1025	1221	1317	1159
99	-30812,5	127102	1103	1809	3124	4353	2917

Refª Amostra	M	P	Desvio Padrão da Resistividade n1 (ohm.m)	Desvio Padrão da Resistividade n2 (ohm.m)	Desvio Padrão da Resistividade n3 (ohm.m)	Desvio Padrão da Resistividade n4 (ohm.m)	Desvio Padrão Global da Resistividade (ohm.m)
101	-30792,5	127102	1232	1492	1394	990	1340
102	-30782,5	127102	963	757	575	479	876
103	-30772,5	127102	736	511	284	202	639
106	-30822,5	127092	803	879	1209	1268	1130
107	-30812,5	127092	1776	2344	2213	1581	2288
108	-30802,5	127092	632	488	369	410	516
109	-30792,5	127092	1696	1361	1105	938	1345
110	-30782,5	127092	1026	666	352	161	645
111	-30772,5	127092	920	654	426	311	804
133	-30742,5	127242	690	868	1461	2154	2011
134	-30732,5	127242	478	610	666	609	599
137	-30732,5	127232	374	288	367	1134	2267
139	-30742,5	127222	832	807	737	673	800
140	-30732,5	127222	2088	1752	1659	1646	1809
142	-30742,5	127212	1535	986	509	299	945
143	-30732,5	127212	1300	1322	1253	1179	1423
146	-30732,5	127202	1843	855	559	1132	1864
154	-30742,5	127172	1061	720	426	365	1440

III. Resultados Obtidos na Análise Geoquímica das Amostras de Solo

Refª Amostr	M	P	Ag (ppm)	As (ppm)	Au (ppm)	Ba (ppm)	Be (ppm)	Bi (ppm)	Ca (%)	Cd (ppm)	Ce (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Hf (ppm)	In (ppm)
4	-30752,5	127242	0,05	6	0,1	354	4	1,9	0,03	0,1	76	7,1	31	15,2	2,34	3,9	0,03
6	-30772,5	127232	0,1	6	0,1	319	4	1,4	0,05	0,1	66	9	31	12,5	2,3	4,5	0,03
7	-30762,5	127232	0,1	9	0,1	309	4	1,1	0,07	0,1	70	8,4	30	10,2	2,35	4,4	0,03
11	-30772,5	127222	0,05	5	0,1	427	3	0,5	0,03	0,1	45	16,1	24	13,6	2,42	4,9	0,03
13	-30752,5	127222	0,1	7	0,1	316	5	1	0,04	0,1	80	6,1	30	10,3	2,14	4,6	0,03
15	-30792,5	127212	0,2	6	0,1	320	3	1,4	0,05	0,1	91	7,1	35	12,3	2,06	3,7	0,03
16	-30782,5	127212	0,05	10	0,1	343	4	1,4	0,09	0,1	85	9,9	30	16,1	2,25	4,2	0,03
18	-30762,5	127212	0,05	10	0,1	328	3	1,5	0,04	0,1	69	9,4	27	7,5	1,78	4,3	0,03
22	-30792,5	127202	0,2	16	0,1	310	3	1,6	0,04	0,1	86	5	30	57,4	1,99	3,7	0,03
24	-30772,5	127202	0,05	6	0,1	209	4	1,9	0,02	0,1	40	2,9	29	7,8	1,22	2,8	0,03
25	-30762,5	127202	0,1	17	0,1	258	5	1,6	0,04	0,1	79	5	28	10,7	1,99	4	0,06
26	-30752,5	127202	0,05	6	0,1	402	4	0,8	0,02	0,1	67	6,4	22	6,3	1,73	4,8	0,03
2829	-30797	127189	0,2	12	0,1	329	5	0,9	0,05	0,1	83	6,5	31	12,8	2,18	4,6	0,03
30	-30782,5	127192	0,05	13	0,1	302	3	1	0,03	0,1	78	5	26	9,4	1,76	4,1	0,03
32	-30762,5	127192	0,05	10	0,1	228	6	0,9	0,01	0,1	82	3	20	7,1	1,21	5	0,03
39	-30772,5	127182	0,05	33	0,1	262	4	1,2	0,02	0,1	62	5,5	30	12	2,54	4,2	0,03
41	-30752,5	127182	0,05	8	0,1	248	5	0,7	0,02	0,1	50	5,5	26	5,5	2,17	4,8	0,05
46	-30782,5	127172	0,4	9	0,1	369	6	0,7	0,16	0,1	93	8,1	29	12,6	2,44	4,6	0,03
48	-30762,5	127172	0,1	7	0,1	244	5	0,7	0,03	0,1	40	7,5	27	8,3	2,56	5,3	0,03
51	-30812,5	127162	0,3	13	0,1	348	4	0,6	0,07	0,1	105	6,9	30	15,5	2,38	4,6	0,07
53	-30792,5	127162	3,6	8	0,1	314	6	0,8	0,08	0,1	90	7	31	65,9	2,41	3,8	0,03
55	-30772,5	127162	0,2	5	0,1	281	7	0,4	0,04	0,1	40	7,4	23	5,9	2,82	4,6	0,03
57	-30752,5	127162	2,2	17	0,1	283	5	0,9	0,03	0,1	60	5,5	26	82,5	2,05	4,4	0,03
60	-30802,5	127152	0,5	17	0,1	398	4	0,6	0,1	0,1	101	7,1	36	20,9	2,39	3,5	0,03
62	-30782,5	127152	0,1	3	0,1	368	3	0,5	0,03	0,1	43	7,7	17	3,6	2,07	5	0,03
64	-30762,5	127152	0,1	11,1	12	0,1	315	5	0,7	0,04	0,1	67	6,6	22	57,7	2,32	4,4
65	-30752,5	127152	0,1	11,2	12	0,1	325	4	0,9	0,07	0,1	79	7,9	24	80,7	2,1	4,2
66	-30822,5	127142	0,2	10,8	17	0,1	347	3	0,5	0,07	0,1	98	8,1	32	15,2	2,58	4,6
67	-30812,5	127142	0,2	9,07	12	0,1	435	4	0,4	0,12	0,1	87	8	29	14,4	2,36	3,7
69	-30792,5	127142	0,2	10,1	6	0,1	380	5	0,6	0,09	0,1	84	7,5	30	15,9	2,32	3,5
71	-30772,5	127142	0,05	11,6	6	0,1	286	6	0,4	0,03	0,1	42	6,9	24	47	2,36	5,5
72	-30762,5	127142	0,1	10,4	12	0,1	319	5	0,7	0,05	0,1	60	6,4	24	76,6	2,1	4,3
74	-30822,5	127132	0,2	10,5	18	0,1	366	4	0,5	0,07	0,1	104	7,8	30	36,2	2,47	4,2
78	-30782,5	127132	0,05	11,4	6	0,1	292	4	1,4	0,02	0,1	41	5,6	23	35,9	1,93	4,1
83	-30812,5	127122	0,2	10,6	19	0,1	422	5	0,6	0,17	0,1	108	9,1	30	12,4	2,34	4,2
85	-30792,5	127122	0,05	11,6	9	0,1	399	5	0,4	0,06	0,1	63	8	27	9,1	2,39	4,5

Refª Amostr a	M	P	Ag (ppm)	Al (%)	As (ppm)	Au (ppm)	Ba (ppm)	Be (ppm)	Bi (ppm)	Ca (%)	Cd (ppm)	Ce (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Hf (ppm)	In (ppm)
90	-30822,5	127112	0,3	9,87	17	0,1	341	5	0,7	0,0	0,1	72	7,6	31	17,9	2,46	3,9	
94	-30782,5	127112	0,1	10,3	20	0,1	335	3	0,6	0,0	0,1	66	6,9	26	13,8	2,25	4,2	0,03
99	-30812,5	127102	0,05	9,78	26	0,1	411	3	0,8	0,1	0,1	81	7,4	30	13,1	2,28	3,7	0,07
101	-30792,5	127102	0,05	9,94	16	0,1	338	3	0,6	0,0	0,1	84	7,3	29	11,6	2,3	4,2	0,08
103	-30772,5	127102	0,1	10,4	14	0,1	294	5	0,7	0,0	0,1	62	5,4	25	11	2,14	4,8	0,03
106	-30822,5	127092	0,1	9,92	27	0,1	366	5	0,7	0,0	0,1	74	6,5	30	16,7	2,44	3,9	0,07
108	-30802,5	127092	0,05	10,0	20	0,1	315	4	0,5	0,0	0,1	72	7,6	27	12,6	2,3	4,1	0,03
110	-30782,5	127092	0,4	10,6	20	0,1	315	6	0,5	0,0	0,1	77	5,7	28	11	2,18	4,4	0,03
111	-30772,5	127092	0,1	10,6	17	0,1	299	4	0,6	0,0	0,1	69	5	28	13,2	2,14	4,2	0,03
134	-30732,5	127242	0,1	10,0	15	0,1	320	5	0,9	0,0	0,1	68	19,5	67	101,7	3,99	2,4	0,06
140	-30732,5	127222	0,05	9,97	12	0,1	260	5	0,8	0,0	0,1	35	6,7	28	12,4	2,36	3,3	0,03
142	-30742,5	127212	0,05	9,08	14	0,1	380	3	0,5	0,0	0,1	52	6,4	19	6,7	1,57	3,9	0,03
146	-30732,5	127202	0,4	8,96	13	0,1	338	5	0,7	0,0	0,1	62	5,7	25	13,7	1,94	3,6	0,05
154	-30742,5	127172	0,2	10,6	15	0,1	289	5	1,2	0,0	0,1	47	5,6	22	74,4	1,77	4,4	0,09

Refª Amostra	K (%)	La (ppm)	Li (ppm)	Mg (%)	Mn (ppm)	Mo (ppm)	Na (%)	Nb (ppm)	Ni (ppm)	P (%)	Pb (ppm)	Rb (ppm)	Re (ppm)	S (%)	Sb (ppm)
4	2,86	31,2	99,2	0,33	276	0,7	0,21	15,8	12,1	0,047	54,7	233,3	0,003	0,1	0,4
6	3,01	25,4	122,1	0,35	234	0,6	0,248	14,2	12,5	0,067	67,4	225,7	0,003	0,1	0,3
7	3,11	26,8	125	0,36	206	0,8	0,245	15	12,4	0,06	63,5	237,1	0,003	0,1	0,3
11	3,37	16,1	106,1	0,37	245	0,8	0,138	14,8	23,2	0,045	131,1	191,2	0,003	0,1	0,4
13	3,38	31	96,6	0,31	175	0,6	0,178	14	11,3	0,047	70,2	272,5	0,003	0,1	0,3
15	3,46	36,2	91,5	0,31	207	0,6	0,25	15,2	13,1	0,043	76	256,4	0,003	0,1	0,3
16	3,21	33,3	110,5	0,38	197	0,9	0,346	16,8	14,3	0,047	77,2	234,5	0,003	0,1	0,4
18	3,4	24,8	84,3	0,26	135	0,6	0,221	13,1	10,7	0,053	99,2	238,9	0,003	0,1	0,4
22	3,58	33,8	83,5	0,29	158	0,5	0,195	13,8	9,8	0,033	76,7	267,7	0,003	0,1	0,8
24	3,24	12,4	62,8	0,18	63	0,4	0,141	13,8	8,1	0,026	76,8	221,7	0,003	0,1	0,4
25	2,96	30	67,3	0,27	118	0,8	0,166	13,6	11,7	0,032	86,6	233,3	0,003	0,1	0,7
26	4,13	24,8	60,8	0,25	131	0,5	0,172	10,1	9,1	0,032	134,9	278,8	0,003	0,1	0,4
2829	3,43	31,2	100,1	0,33	182	0,7	0,228	15,6	12	0,038	65,4	264,2	0,003	0,1	0,3
30	3,64	28,3	79	0,26	120	0,6	0,167	14,8	11	0,033	68,4	275,6	0,003	0,1	0,4
32	3,52	24,7	51,4	0,18	44	0,7	0,104	10,7	7,1	0,025	62,9	252,9	0,003	0,1	0,9
39	2,81	20,3	105,3	0,35	183	0,8	0,152	16,8	10,1	0,029	68,1	238	0,003	0,1	0,8
41	3,29	17	81,5	0,3	166	0,3	0,135	14,3	10,5	0,027	75,6	256,1	0,003	0,1	0,4
46	3,44	36,9	139,5	0,4	218	0,7	0,63	14,4	10,2	0,041	58	261,3	0,003	0,1	0,3
48	2,76	13,2	128,6	0,38	241	0,7	0,132	16,9	8,9	0,027	55	232,5	0,003	0,1	0,4
51	3,36	41,3	111,9	0,34	191	0,6	0,284	15,4	12,1	0,045	74,1	266,1	0,003	0,1	0,3
53	3,05	36	102	0,35	201	0,8	0,275	13,6	10,3	0,066	75,4	249,7	0,003	0,1	0,3
55	2,64	13,5	153,1	0,45	276	1	0,172	17,5	7,4	0,026	47,1	192,3	0,003	0,1	0,1
57	3,63	20,7	85	0,29	167	0,6	0,185	14	10,6	0,057	91,3	269,2	0,003	0,1	0,7
60	3,41	39,6	118,8	0,37	219	0,7	0,466	14,3	11,9	0,047	92,2	276,4	0,003	0,1	0,3
62	3,83	15,6	159,4	0,33	282	0,4	0,163	13,7	7,8	0,027	58,8	261,1	0,003	0,1	0,1
64	3,54	23	103,3	0,33	211	0,7	0,192	14,7	10	0,049	74	257,5	0,003	0,1	0,5
65	3,54	28,5	99,8	0,32	192	0,8	0,307	13,9	10,3	0,066	77,5	262,3	0,003	0,1	0,5
66	3,12	39,5	109,8	0,37	204	0,7	0,312	16	11,7	0,053	229,8	252,9	0,003	0,1	0,4
67	3,87	34,6	115,5	0,35	221	0,6	0,496	14,2	10,2	0,039	58	286,3	0,003	0,1	0,2
69	3,55	32,9	139,8	0,38	211	0,3	0,437	14,7	11,3	0,047	58,8	281,4	0,003	0,1	0,2
71	3,3	13,8	130,7	0,34	194	0,8	0,16	14,5	10,5	0,032	58,4	234,2	0,003	0,1	0,3
72	3,74	21,4	112,3	0,32	174	0,5	0,267	14,1	10,3	0,049	79,7	266,7	0,003	0,1	0,6
74	3,37	43,6	122,4	0,39	249	0,7	0,371	15,9	12	0,052	81	272,2	0,003	0,1	0,3
78	3,4	13,4	122,4	0,32	178	0,6	0,171	14,8	8,7	0,029	58,9	214,4	0,003	0,1	0,3
83	3,43	44,6	143,9	0,4	231	0,7	0,594	16	9,5	0,047	47,2	223,7	0,003	0,1	0,4
85	3,33	23,3	152,2	0,42	241	0,6	0,275	16,4	10	0,031	46,6	195,7	0,003	0,1	0,2

Refª Amostra	K (%)	La (ppm)	Li (ppm)	Mg (%)	Mn (ppm)	Mo (ppm)	Na (%)	Nb (ppm)	Ni (ppm)	P (%)	Pb (ppm)	Rb (ppm)	Re (ppm)	S (%)	Sb (ppm)
90	3	30,1	117,5	0,39	233	0,5	0,38	15,4	13,2	0,048	63,1	261,6	0,003	0,1	0,4
94	3,48	22,1	103,8	0,33	158	0,8	0,239	14,8	10,6	0,033	58,2	236,1	0,003	0,1	0,7
99	3,58	30,4	111,3	0,39	225	0,5	0,447	15,8	9,7	0,053	52,9	244,9	0,003	0,1	0,5
101	3,14	30,4	101,6	0,36	171	0,7	0,252	15,7	11	0,036	56,1	245,2	0,003	0,1	0,5
103	3,6	19,7	102,9	0,34	130	0,6	0,141	15,4	9	0,029	53,1	257,5	0,003	0,1	0,6
106	2,91	29,4	101,8	0,35	258	0,6	0,32	17	11,3	0,048	62,1	228,9	0,003	0,1	0,5
108	3,06	24,9	90,3	0,31	145	0,9	0,172	16,6	8,6	0,051	62,8	199,8	0,003	0,1	0,6
110	3,36	27,9	96	0,34	133	0,7	0,184	15,8	9,9	0,03	59,5	263,5	0,003	0,1	0,8
111	3,35	23,6	98	0,33	130	0,8	0,153	15,8	9,7	0,034	54,6	288,3	0,003	0,1	0,7
134	2,69	26,2	141,5	0,46	660	0,7	0,2	16	29,9	0,106	63	184,2	0,003	0,1	0,4
140	2,72	11,1	96,5	0,32	201	1,1	0,127	15,8	10,1	0,047	58,2	208,3	0,003	0,1	0,4
142	3,97	17,8	75,4	0,26	161	0,2	0,184	9,8	7,7	0,032	98,4	255,3	0,003	0,1	0,4
146	3,44	21,5	97,1	0,31	181	0,5	0,309	12,3	8	0,053	63,4	219	0,003	0,1	0,5
154	4,01	14,9	80,2	0,28	144	0,4	0,187	13,3	9,8	0,046	93,1	271,7	0,003	0,1	0,7

Refª Amostra	Sc (ppm)	Se (ppm)	Sn (ppm)	Sr (ppm)	Ta (ppm)	Te (ppm)	Th (ppm)	Ti (%)	Tl (ppm)	U (ppm)	V (ppm)	W (ppm)	Y (ppm)	Zn (ppm)	Zr (ppm)
4	5	1	18,8	46	1,8	0,3	19,8	0,335	1,7	6,3	34	2	6,2	108	119,5
6	5	1	19,3	49	1,5	0,3	20,2	0,303	1,9	7,4	39	1,7	6,8	106	133,1
7	5	1	19,2	47	1,7	0,3	21,7	0,314	1,8	7,5	37	1,9	7,2	102	154,9
11	4	1	8,9	62	1,3	0,3	15,9	0,325	1,7	10,4	33	0,8	3,8	150	159,2
13	4	1	22,3	51	1,4	0,3	22,8	0,318	1,8	6,6	35	2	6,6	99	153,6
15	5	1	22	49	1,4	0,3	22,6	0,322	1,7	6,6	36	2,3	6,9	93	127,1
16	5	1	22,9	55	1,5	0,3	21,6	0,312	1,7	11,7	31	1,8	7,8	128	149,4
18	4	1	18,1	52	1,3	0,3	20,5	0,252	1,7	8,3	29	1,8	4,8	89	141,7
22	5	1	35,7	49	1,3	0,3	21,3	0,284	1,7	6	32	2,1	6	88	128,4
24	4	1	18,7	35	1,2	0,3	11,1	0,219	1,4	4,4	30	2,8	2,7	46	89,3
25	4	1	21	43	1,4	0,3	20,8	0,282	1,6	6	32	1,8	5,6	95	145,7
26	3	1	12,4	67	0,9	0,3	23,9	0,234	1,8	6,4	23	0,9	5,4	102	167,3
2829	5	1	20,6	48	1,5	0,3	23	0,328	1,9	6,7	38	2,1	6	96	150,8
30	4	1	26,4	43	1,4	0,3	21,3	0,289	1,9	5,7	34	2,9	4,7	72	140
32	3	2	27,2	33	1	0,3	23,9	0,212	1,6	5,1	25	3,3	4	35	167,9
39	4	1	17,1	38	1,6	0,3	20,2	0,33	1,9	6,5	39	1,8	4,2	101	137,6
41	4	1	15,5	40	1,4	0,3	19	0,308	2,2	6,3	27	1	3,4	126	177,1
46	4	1	13,5	70	1,5	0,3	25,2	0,334	2,1	8,2	27	1,1	8	87	144,9
48	4	1	14,4	32	1,8	0,3	16,2	0,355	1,8	6,9	30	1,3	3,3	97	178,1
51	5	1	17	55	1,4	0,3	28,4	0,336	1,8	7,3	36	2	7,6	108	157,6
53	5	2	14,1	50	1,2	0,3	23,2	0,286	1,9	6,8	31	1	8,7	97	130
55	4	1	12,8	38	1,6	0,3	17,4	0,38	1,9	7,3	29	0,8	3,6	109	158,3
57	4	1	27,4	45	1,4	0,3	20,1	0,275	1,8	6,6	28	2,6	4,4	100	140,2
60	5	1	15,7	66	1,4	0,3	25,2	0,321	1,9	6,2	41	1,8	7,2	102	122,5
62	3	1	15,8	51	1,6	0,3	18,7	0,269	2,1	8,7	22	0,9	3,7	84	167,1
64	4	1	20,2	48	1,5	0,3	21,7	0,299	1,9	6,6	23	1,7	4,5	94	153,8
65	5	1	20,5	53	1,3	0,3	23,6	0,288	1,8	6,9	29	1,7	5,3	97	140
66	5	1	16,4	51	1,4	0,3	28,2	0,347	1,7	7,7	33	2	7,1	116	160,2
67	4	1	12,9	65	1,4	0,3	23,5	0,329	2	7,1	22	1,6	5,8	104	130,4
69	4	1	14,3	59	1,5	0,3	24	0,332	1,9	6,9	26	1,3	6,7	85	131,5
71	4	1	13,3	41	1,5	0,3	17,8	0,317	1,8	6,6	27	1	3,4	95	176,4
72	4	1	19,5	48	1,4	0,3	19,9	0,287	2	6,2	24	1,9	4,3	100	142,7
74	6	1	19,7	58	1,5	0,3	28,2	0,351	1,9	7,2	36	2	7,9	107	134,8
78	3	1	13	46	1,5	0,3	16,5	0,274	1,7	6	23	1,1	3,6	72	132,6
83	4	1	17,3	74	1,6	0,3	25	0,343	1,6	7,8	31	1,2	11	85	141,8
85	4	1	11,3	58	1,5	0,3	21,2	0,365	1,6	6,2	28	0,7	5,8	84	153,4

Refª Amostra	Sc (ppm)	Se (ppm)	Sn (ppm)	Sr (ppm)	Ta (ppm)	Te (ppm)	Th (ppm)	Ti (%)	Tl (ppm)	U (ppm)	V (ppm)	W (ppm)	Y (ppm)	Zn (ppm)	Zr (ppm)
90	5	1	16,4	55	1,4	0,3	19,5	0,326	1,7	6,8	37	2	6,1	95	133,1
94	4	1	20,2	50	1,3	0,3	20,3	0,31	1,7	6,3	24	1,9	4,6	81	146,1
99	4	1	22,2	65	1,3	0,3	20,6	0,301	1,6	6,9	34	2,5	6,3	81	128,8
101	5	1	21,2	51	1,4	0,3	22,3	0,316	1,6	6,3	35	1,9	5,6	79	158,1
103	4	1	39,7	37	1,7	0,3	20,4	0,308	2,1	6,4	29	2,6	3,3	89	160,7
106	5	1	18,4	57	1,5	0,3	18,5	0,313	1,4	6	33	3,2	6	91	127,1
108	5	1	23,5	48	1,5	0,3	19,5	0,333	1,3	6,1	33	2,8	4,2	79	142,7
110	4	1	71,5	46	1,4	0,3	22,2	0,311	1,9	6,8	24	3,9	4,7	78	160,7
111	5	1	44,8	41	1,4	0,3	20,6	0,31	1,8	5,8	27	3	3,9	86	155,3
134	10	1	12,2	34	1,5	0,3	16,2	0,408	1,2	5,4	76	2,3	7,5	115	80,6
140	5	1	19,6	34	1,9	0,3	12,7	0,293	1,8	6,7	35	1,4	3,2	102	106,9
142	3	1	10,1	61	0,9	0,3	18	0,196	1,6	5,5	24	0,9	4,2	106	142,8
146	4	1	14,9	51	1,4	0,3	19,9	0,262	1,6	6,3	27	1,5	4	75	122,5
154	4	1	23,3	44	1,3	0,3	15,9	0,259	1,8	6,2	24	2,4	3,4	91	137,8

IV. ACP da Análise Geofísica
(coordenadas das amostras nos seis primeiros fatores)

Refª Amostra	M	P	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
4	-30752,5	127242	1,13478	0,768969	1,54727	-0,9366	-0,131832
6	-30772,5	127232	-0,625121	4,05218	0,418269	1,0885	-0,163921
7	-30762,5	127230	-1,13354	-2,84383	2,00818	-1,44713	-0,72337
8	-30754,7	127233	0,351689	-2,1737	0,486852	-1,25463	-0,119644
11	-30772,5	127222	-1,5568	0,680089	-1,16079	-0,161574	1,24906
13	-30752,5	127222	-2,49246	2,06838	-0,333173	0,538682	0,187452
15	-30792,5	127212	0,965361	2,16541	0,773391	-0,365736	-0,0398089
16	-30782,5	127212	-4,71968	-1,23801	-1,2561	-0,805834	0,313537
18	-30762,5	127212	-4,39334	4,16002	2,41558	1,31228	0,363417
21	-30802,5	127202	-0,507578	6,73827	-0,835771	0,121922	-1,24016
22	-30792,5	127202	1,82451	1,60731	-1,27545	0,433109	0,281141
24	-30772,5	127202	3,60635	0,458104	-0,103074	0,48967	0,282959
25	-30762,5	127202	-0,103515	0,41392	-1,15248	0,429334	0,780051
29	-30792,5	127192	0,512068	1,88257	0,0797317	0,447159	0,867683
2829	-30796,6	127189	-1,0445	0,96001	-3,22963	-1,20153	0,0342304
30	-30782,5	127192	-0,0896561	2,64772	0,801213	0,429069	0,244892
31	-30772,5	127192	2,09399	-0,186787	-0,685895	0,183743	0,628423
32	-30762,5	127192	1,56672	0,652114	-0,474626	0,450193	0,46966
33	-30752,5	127192	2,64346	-1,35395	0,0455559	0,0754117	0,013245
37	-30792,5	127182	4,75543	0,314052	-0,62311	-0,106416	0,0622361
38	-30782,5	127182	-1,47285	1,25974	-0,159797	0,720729	0,547916
39	-30772,5	127182	2,46118	0,706539	0,385997	0,157031	0,225725
40	-30762,5	127182	2,75091	-0,5181	0,0688388	-0,132527	-0,0386399
41	-30752,5	127182	3,54323	-0,57088	0,39665	-0,598254	0,00814479
45	-30792,5	127172	2,14763	3,0118	-0,39443	0,29546	-0,31537
46	-30782,5	127172	1,50769	-0,339525	0,756562	-0,669478	0,168525
47	-30772,5	127172	1,66287	-1,16012	0,811535	-0,72028	0,219769
48	-30762,5	127172	1,68326	-0,371332	-0,0146309	-0,794878	0,243804
51	-30812,5	127162	0,201235	1,27339	0,544703	-1,32167	0,387147
52	-30802,5	127162	0,56135	-3,49936	0,840806	-0,472333	-2,04248
53	-30792,5	127162	1,07172	-0,293732	-0,973449	0,181029	0,78269
54	-30782,5	127162	-4,63875	5,92881	-0,393865	0,398186	0,168651
55	-30772,5	127162	1,46528	-1,32369	-0,343012	-0,182417	-0,00866355
57	-30752,5	127162	1,11449	-0,566686	0,450938	-0,52813	0,0508315
59	-30812,5	127152	-0,951998	-0,841525	1,07707	-0,49316	-0,0153897
60	-30802,5	127152	0,720452	-1,88109	2,2436	-0,743005	-0,622594
61	-30792,5	127152	2,14325	-0,259198	0,385409	0,393605	-0,230033
62	-30782,5	127152	2,80154	0,310504	-0,646475	0,0743829	0,14919
63	-30772,5	127152	1,04508	1,37594	-0,201057	-0,777112	0,0903242
64	-30762,5	127152	-0,370213	-1,58653	0,0416423	-0,351868	0,38499
65	-30752,5	127152	0,0227007	-1,70088	1,90421	-0,0459806	-0,423414
66	-30822,5	127142	-1,86876	-0,31734	0,175092	-0,79398	0,245993
67	-30812,5	127142	-4,4651	-2,34128	-2,11143	-0,811	-0,388192
69	-30792,5	127142	-2,75486	-0,243023	0,141756	-0,00825369	0,444627
70	-30782,5	127142	-4,01504	-1,0697	-1,71608	0,227977	1,12162
71	-30772,5	127142	1,98169	1,57403	-0,286055	-0,155892	-0,131052
72	-30762,5	127142	-10,7286	-3,2899	-0,347487	0,359553	-0,173284
74	-30822,5	127132	-0,777235	0,283117	2,26225	-0,962458	0,436004
78	-30782,5	127132	3,02016	0,245785	-1,05531	-0,352632	0,601723
82	-30822,5	127122	1,12147	0,614933	-0,906043	-0,789696	0,249166
83	-30812,5	127122	-2,64746	2,83818	0,533217	-0,0927913	-0,3788
85	-30792,5	127122	-3,31722	-3,78519	-0,701963	0,467259	-0,182528
86	-30782,5	127122	2,47493	-0,258829	-0,0148948	0,621565	0,0594493
90	-30822,5	127112	-2,51075	7,73377	-1,65514	-0,739483	-1,95375

Refª Amostra	M	P	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
91	-30812,5	127112	-0,384622	0,762826	1,28504	-0,724737	0,809905
93	-30792,5	127112	-1,28936	-3,7555	-0,0762786	1,66327	-0,89177
94	-30782,5	127112	-0,485602	-1,65034	-0,331482	1,102	-0,0745425
98	-30822,9	127103	0,315143	-1,42586	-0,221247	-0,27019	0,14291
99	-30812,5	127102	-4,2736	-1,12405	-2,86138	-1,77827	0,0155506
101	-30792,5	127102	-0,0932873	-2,32463	-0,726494	0,551328	0,428835
102	-30782,5	127102	1,64586	-0,65445	0,441085	0,543538	-0,0349231
103	-30772,5	127102	2,35072	-0,688851	0,939254	0,234422	0,0415043
106	-30822,5	127092	0,556593	-2,45523	-0,0138309	-0,674145	-0,643517
107	-30812,5	127092	-1,20062	-4,7479	-2,78653	1,26581	-1,39516
108	-30802,5	127092	2,7922	-1,24947	0,556469	-0,118143	0,100358
109	-30792,5	127092	0,287654	-2,6363	-0,751967	1,39736	-0,271396
110	-30782,5	127092	3,12915	-1,88626	0,037852	0,825087	-0,349288
111	-30772,5	127092	1,74229	-0,592063	0,801031	0,504023	0,0930217
133	-30742,5	127242	-3,00606	1,48467	1,15252	-1,28432	0,538985
134	-30732,5	127242	4,93938	-1,45861	-1,5844	-0,0307016	0,393091
137	-30732,5	127232	2,57818	4,74689	-0,848321	0,426857	-1,45262
139	-30742,5	127222	1,85323	-1,11965	0,132315	0,194894	-0,425023
140	-30732,5	127222	-3,59979	-1,47432	0,027772	1,37491	0,829071
142	-30742,5	127212	0,217425	-1,85827	1,0671	1,29761	-0,0552494
143	-30732,5	127212	-2,92431	-1,02743	1,75208	0,229221	-1,40045
146	-30732,5	127202	-5,15801	0,803751	3,77517	0,775341	0,498709
154	-30742,5	127172	2,23601	1,6196	-0,310861	1,41571	0,0606537

V. ACP da Análise Geoquímica
(coordenadas das amostras nos seis primeiros fatores)

Refª Amostra	M	P	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
4	-30752,5	127242	1,39641	1,57305	0,69805	0,39076	1,04084
6	-30772,5	127232	1,70487	1,17927	-0,37623	1,03291	0,28760
7	-30762,5	127232	1,62504	0,37263	-0,47626	-0,15959	-0,01616
11	-30772,5	127222	1,98235	1,70276	-4,49872	2,65613	-3,27947
13	-30752,5	127222	-0,36487	-0,78673	0,17028	0,07096	-0,74014
15	-30792,5	127212	0,98166	-0,32133	1,78834	0,66565	0,49022
16	-30782,5	127212	2,43855	-0,77878	-0,04864	-0,09506	-0,29534
18	-30762,5	127212	-1,77596	0,00996	0,54778	2,11281	-0,03428
22	-30792,5	127202	-1,37543	-0,11228	3,53180	0,26438	-0,25257
24	-30772,5	127202	-5,56107	4,06352	2,75425	2,37622	4,21493
25	-30762,5	127202	-2,08683	0,91630	1,98562	0,04426	-0,12332
26	-30752,5	127202	-3,86046	-3,30509	-1,15789	3,52946	-2,17030
2829	-30797,0	127189	0,48957	-0,55761	0,32760	-0,77502	-0,52353
32	-30762,5	127192	-7,46565	-0,31044	2,89962	-0,57996	-0,48623
39	-30772,5	127182	-0,44494	2,57765	0,86733	-2,65032	-0,07314
41	-30752,5	127182	-2,56843	1,39255	-2,32811	-0,18258	-1,63471
46	-30782,5	127172	2,92750	-4,66382	-1,24348	-0,18721	1,70573
48	-30762,5	127172	-0,86123	3,15374	-3,79688	-2,50376	-0,37597
51	-30812,5	127162	2,04472	-2,65965	0,40953	-0,98047	-1,24909
53	-30792,5	127162	2,19131	-1,25253	1,33995	2,23886	-0,18978
55	-30772,5	127162	1,03705	2,84728	-5,45108	-2,43765	1,14546
57	-30752,5	127162	-1,93942	0,68988	2,15007	0,99749	-2,01980
60	-30802,5	127152	3,44141	-3,13170	1,38708	0,66322	0,55089
62	-30782,5	127152	-2,28859	-0,71303	-4,72920	0,68971	0,51765
64	-30762,5	127152	-1,07159	-0,04614	-0,50968	0,09464	-0,95942
65	-30752,5	127152	0,29706	-0,87724	1,03742	1,32591	-0,83779
66	-30822,5	127142	2,64414	-2,29435	0,29608	-0,41793	-3,73609
67	-30812,5	127142	1,80616	-4,08034	-0,74078	0,82702	1,26192
69	-30792,5	127142	2,00537	-2,80306	-0,81288	0,53857	1,68484
71	-30772,5	127142	-1,55147	1,56289	-3,83034	-0,52192	-0,98061
72	-30762,5	127142	-1,29547	-0,09488	0,00691	0,85527	-0,85029
74	-30822,5	127132	3,72002	-2,64678	1,04846	-0,94139	-0,88345
78	-30782,5	127132	-2,75235	1,88538	-2,01111	1,10635	2,22062
83	-30812,5	127122	4,44483	-5,20717	-0,19195	-1,03908	2,31482
85	-30792,5	127122	1,73268	-0,64297	-3,90639	-1,10861	1,55355
90	-30822,5	127112	2,28894	-0,15469	0,25883	-0,53386	0,75576
94	-30782,5	127112	-1,20466	-0,06217	-0,04051	-1,08090	0,31904
99	-30812,5	127102	1,79007	-2,02559	1,28252	-0,74549	1,84866
101	-30792,5	127102	-2,75105	0,90546	0,03525	-2,47689	-0,93058
103	-30772,5	127102	0,41255	-0,33174	0,27032	-1,59365	0,04621
106	-30822,5	127092	1,76335	0,34092	1,43615	-1,61868	1,13221
108	-30802,5	127092	-0,37195	1,64156	0,86338	-1,94177	0,21524
110	-30782,5	127092	-2,26528	-0,23306	2,76441	-4,39137	-1,40830
111	-30772,5	127092	-2,11198	0,66802	1,69078	-2,87122	-0,95531
134	-30732,5	127242	13,36886	8,18931	2,83189	2,45767	-1,01968
140	-30732,5	127222	-0,64177	4,84849	-0,63353	0,34905	1,80995
142	-30742,5	127212	-4,12212	-1,42616	-1,24962	3,75666	-0,09558
146	-30732,5	127202	-1,51655	-0,00316	0,20831	1,57735	1,82363
154	-30742,5	127172	-3,68857	1,14195	1,24474	1,62392	-1,00414